

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การสกัด สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันจากเมล็ดเงาะ

Extraction, Chemical and Physical Properties of Fat
from Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Seed

โดย

นางสาววรรณรดา ศิริสมพงษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรรณรดา ศิริสมพงษ์ 2553: การสกัด สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันจากเมล็ดเงาะ ปริญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์อุทัย กลิ่นเกษร,
ปร.ด. 110 หน้า

เมล็ดเงาะเป็นของเหลือทิ้งหลักที่ได้จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเงาะ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของ
เมล็ดเงาะพบว่าเมล็ดเงาะมีไขมันเป็นองค์ประกอบปริมาณสูงน่าจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขมันเพื่อเพิ่ม
มูลค่าได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันจากเมล็ดเงาะ และศึกษา
คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดวางแผนการ
ทดลองแบบ Central composite design ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความชื้นของเมล็ดเงาะ (X_1 : ร้อย
ละ 5-15 โดยน้ำหนัก) ระยะเวลาในการสกัด (X_2 : 4-9 ชั่วโมง) และขนาดของเมล็ดเงาะ (X_3 : 0.5-1.7 มิลลิเมตร)
ต่อปริมาณของไขมันที่สกัดได้ แล้วทำการสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร
และหาสภาวะที่เหมาะสม โดยในการศึกษาใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย จากการศึกษ
แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้มากที่สุด คือ ขนาดของเมล็ดเงาะ รองลงมาคือ
ความชื้นของเมล็ดเงาะ และระยะเวลาในการสกัด ตามลำดับ ทั้งในการสกัดโดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียม
อีเทอร์ จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง ได้ผลดังนี้ สภาวะที่เหมาะสมใน
การสกัดโดยใช้เฮกเซน ได้แก่ ความชื้นของเมล็ดเงาะร้อยละ 5.67 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการสกัด 9 ชั่วโมง
และขนาดของเมล็ดเงาะ 0.97 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณไขมันร้อยละ 37.25 ของน้ำหนักแห้ง ส่วน
สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ได้แก่ ความชื้นของเมล็ดเงาะร้อยละ 2.10 โดยน้ำหนัก
ระยะเวลาในการสกัด 10.71 ชั่วโมง และขนาดของเมล็ดเงาะ 1.83 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณ ไขมันร้อยละ
39.85 ของน้ำหนักแห้ง จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการถดถอยซึ่งมีค่ามากกว่า 0.95 แสดงให้
เห็นว่าเทคนิคพื้นผิวตอบสนองเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด ไขมันเมล็ด
เงาะ การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีลักษณะเป็นไขมันแข็งสี
ขาวที่อุณหภูมิห้อง มีสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าไอโอดีน ค่าสaponifiเคชัน ปริมาณสารที่สaponifiไฟด์
ไม่ได้ ความถ่วงจำเพาะ และค่าการหักเหแสงไม่แตกต่างจากไขมันที่ใช้กันทั่วไปมากนัก ไขมันเมล็ดเงาะมี
สมบัติที่โดดเด่น คือ เป็นไขมันจากพืชที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูง (49.5 เปอร์เซ็นต์)
และกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว ส่งผลให้ไขมันเมล็ดเงาะมีความคง
ตัวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไขมันยังแสดงให้เห็นว่า
ไขมันเมล็ดเงาะประกอบด้วยผลึกในพอร์มเบต้า จากสมบัติดังกล่าวอาจมีการนำไขมันเมล็ดเงาะไปใช้
ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ เช่น ใช้เป็นสารกักเก็บความชุ่มชื้น หรือใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
เช่น ใช้ทดแทนหรือร่วมกับไขมันที่ต้องผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน เป็นต้น

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Wanrada Sirisompong 2010: Extraction, Chemical and Physical Properties of Fat from Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Seed. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Miss Utai Klinkesorn, Ph.D.
110 pages.

Rambutan seed is the major waste from rambutan processing. It contains high amount of fat which may be used for production of rambutan seed fat in order to add value to the waste. The purpose of this study was therefore to investigate the optimum condition for fat extraction from rambutan seed by soxhlet method. The physical and chemical properties and fatty acid composition of rambutan seed fat were also characterized. For the investigation of optimum condition, hexane and petroleum ether were used as extraction solvents. The effect of independent variables including extraction time (4-9 h), moisture content (5-15%) and particle size (0.5-1.7 mm) on the fat yield was determined using a three factor central composite design (CCD). Significant regression models which explain the effects of different levels of independent variables on fat yield and optimum conditions were determined. The results indicated that the particle size had the most significant effect on the fat yield followed by the moisture content and extraction time for both solvents. The optimum condition from response surface analysis for the extraction of fat using hexane was 5.67% moisture, 0.97 mm particle size and 9 h extraction time. Whereas the optimum condition for the petroleum ether extraction was 2.10% moisture, 1.83 mm particle size and 10.71 h extraction time. Under the optimum condition, the maximum yields for hexane and petroleum ether extraction were 37.25 and 39.85%, respectively. The high coefficients of determination values ($R^2 > 0.95$) for the models indicated that response surface analysis could be a proper methodology for optimizing the solvent extraction of rambutan seed fat. The extractable fat was a white solid at room temperature. Among the physical and chemical properties of the extracted fat, e.g. specific gravity, refractive index, iodine value, saponification number, unsaponifiable matter compared well with those of conventional fat. Rambutan seed fat contained high amount of long chain saturated fatty acids (49.5%). Besides that, x-ray diffraction study demonstrated that β -polymorph was the predominant crystal polymorphism in rambutan seed fat. From the results indicated that rambutan seed fat had high thermodynamic and oxidative stability. Rambutan seed fat might be used in cosmetic industry such as usability as emollient in lotions or lipsticks or used in food industry such as substitute or cooperative usability of hydrogenated fat.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร. อุทัย กลิ่นเกษร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนวคิด และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินงานมาโดยตลอด รวมทั้งการตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี จิรภาคย์กุล กรรมการที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. สงวนศรี เจริญเหรียญ ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร. สุนทรีย สุวรรณสิขณห์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และคอยให้การอบรมสั่งสอนแก่ข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดงาเพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีของข้าพเจ้าเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

วรรณรดา ศิริสมพงษ์

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	80
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	81
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก ภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์	94
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ	96
ภาคผนวก ค โครมาโตแกรมและกราฟมาตรฐาน	100
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเขียนชื่อทางเคมี ชื่อสามัญ และชื่อย่อของกรดไขมัน	7
2	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในไขมันและน้ำมัน	8
3	องค์ประกอบของสเตอรอล (mg/kg) ในน้ำมัน	15
4	ปริมาณโทโคฟีรอลในไขมันและน้ำมัน	19
5	สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและน้ำมัน	25
6	แผนการทดลองแบบ CCD ที่ใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมัน	43
7	ปริมาณไขมันที่สกัดได้ทีสภาวะในการสกัดต่างๆ กัน	57
8	ค่าความน่าจะเป็น (p-value) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลจากการสกัดไขมัน โดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์	58
9	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) และค่าความน่าจะเป็น (p-value) ของพจน์ (Term) ต่างๆ ในสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง	58
10	การเปรียบเทียบปริมาณไขมันที่สกัดได้จริงจากการทดลองและปริมาณไขมันที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ	59
11	สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ	68
12	ค่าสีของไขมันเมล็ดเงาะก่อนและหลังการหลอมละลาย	69
13	อุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวและการเกิดผลึกของไขมันเมล็ดเงาะและเนยโกโก้	71
14	โครงสร้างผลึกของไขมันเมล็ดเงาะ	72
15	องค์ประกอบของไขมันเมล็ดเงาะ	73
16	องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดเงาะและเนยโกโก้	77
17	ปริมาณของสารประกอบสเตอรอลและวิตามินอี (α -tocopherol) ในไขมันเมล็ดเงาะ	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความแตกต่างระหว่างพันธะคู่แบบ cis และ trans ไอโซเมอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว	9
2	โครงสร้างของฟอสโฟลิพิด	12
3	โครงสร้างของสฟิงโกไมอีลิน	13
4	โครงสร้างของสารประกอบสเตอรอลบางชนิด	14
5	โครงสร้างของโทโคฟีรอลชนิดต่างๆ	18
6	ลักษณะโครงสร้างของหน่วยย่อยของโครงสร้างผลึกของไขมันแบบต่างๆ	27
7	แผนการทดลองแบบ Central Composite Design สำหรับ 3 ปัจจัย	33
8	ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ กัน	51
9	ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีความชื้นต่างๆ กัน	52
10	ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่ระยะเวลาต่างๆ กัน	53
11	ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาโดยใช้ปริมาณตัวทำละลายต่างกัน	54
12	แผนภาพพื้นผิวตอบสนองของปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซน (A) และปิโตรเลียมอีเทอร์ (B) โดย A_1 และ B_1 เป็นแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างความชื้นของเมล็ดงา (%w/w) และระยะเวลาในการสกัด (ชม.) A_2 และ B_2 เป็นแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างความชื้นของเมล็ดงา (%w/w) และขนาดของเมล็ดงา (มม.) และ A_3 และ B_3 เป็นแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างระยะเวลาในการสกัด (ชม.) และขนาดของเมล็ดงา (มม.) ตามลำดับ	63
ภาพผนวกที่		
ก1	เมล็ดงาที่ใช้ในการสกัดไขมันภายหลังการทำความสะอาดก่อน (a) และหลัง (b) การแกะเปลือกหุ้มเมล็ด	95
ก2	ไขมันเมล็ดงาก่อน (a) และหลัง (b) การหลอมละลาย	95
ค1	เทอร์โมแกรมการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของไขมันเมล็ดงา	101
ค2	เทอร์โมแกรมการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของเนยโกโก้	101

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค3	สัญญาณการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ไขมันเมล็ดเงาะ	102
ค4	โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดไขมัน	102
ค5	โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่พบในไขมันเมล็ดเงาะ	103
ค6	โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่พบในเนยโกโก้	103
ค7	โครมาโตแกรมของสารประกอบสเตอรอลที่พบในไขมันเมล็ดเงาะ	104
ค8	โครมาโตแกรมของอัลฟาโทโคฟีรอลที่พบในไขมันเมล็ดเงาะ	104
ค9	กราฟการนำไฟฟ้าของน้ำปราศจากไอออนซึ่งแสดงถึงระยะเวลา ในการชักนำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันเมล็ดเงาะ	105
ค10	การแยกองค์ประกอบของไขมันเมล็ดเงาะ โดยเทคนิค HPTLC	105
ค11	กราฟมาตรฐานของฟอสโฟลิปิด	106
ค12	กราฟมาตรฐานของโมนอกลิเซอไรด์	106
ค13	กราฟมาตรฐานของไดกลีเซอไรด์	107
ค14	กราฟมาตรฐานของกรดไขมันอิสระ	107
ค15	กราฟมาตรฐานของไตรกลีเซอไรด์	108
ค16	กราฟมาตรฐานของสติกมาสเตอรอล	108
ค17	กราฟมาตรฐานของไซโตสเตอรอล	109

การสกัด สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันจากเมล็ดเงาะ

Extraction, Chemical and Physical Properties of Fat from Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Seed

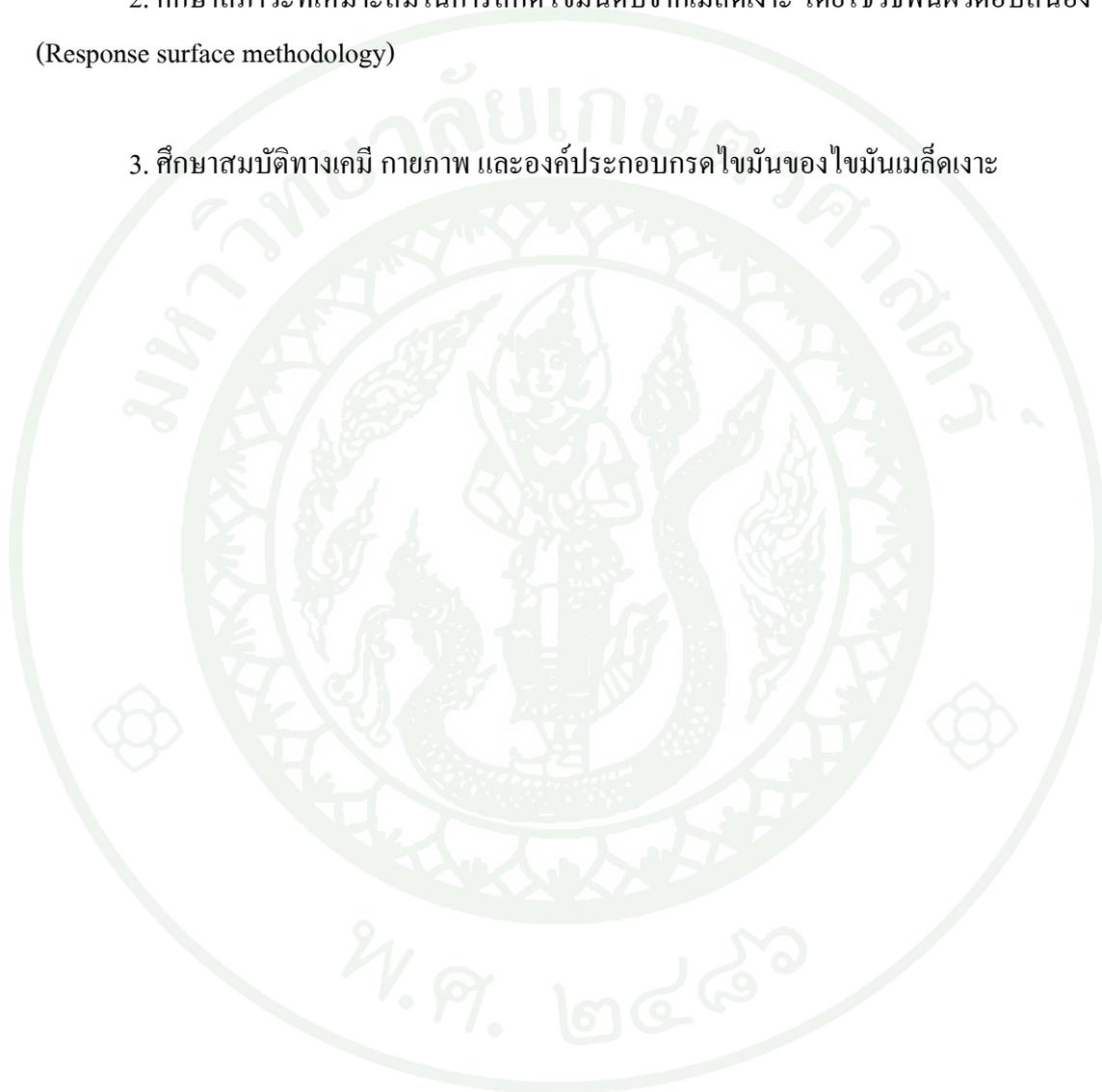
คำนำ

เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้ความต้องการน้ำมันทั้งเพื่อการอุปโภคและบริโภคเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ราคาน้ำมันสูงขึ้นเช่นกัน การศึกษาแหล่งวัตถุดิบใหม่ของน้ำมัน โดยเฉพาะวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมต่างๆ จึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น

เงาะถือเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยมีผลผลิตรวมทั้งประเทศประมาณ 600,000 – 700,000 ตันต่อปี ซึ่งผลผลิตที่ได้นอกจากจะมีการนำไปบริโภคผลสดแล้ว ยังมีการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เงาะกระป๋อง และเงาะสอดไส้สับปะรดบรรจุกระป๋อง เป็นต้น ซึ่งจากการแปรรูปจะมีของเหลือทิ้งคือ เปลือกและเมล็ดเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่แล้วเปลือกและเมล็ดเหล่านี้จะถูกกำจัดโดยการนำไปทิ้งหรือใช้เป็นอาหารสัตว์ซึ่งส่งผลให้ทางโรงงานต้องสูญเสียประโยชน์ และยังคงเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้งด้วย นอกจากนี้ในกรณีที่มีการกำจัดอย่างไม่ถูกสุขลักษณะยังอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมตามมาอีก เนื่องจากในส่วนของเมล็ดเงาะ พบว่ามีไขมันเป็นส่วนประกอบประมาณ 37.1-38.9 เปอร์เซ็นต์ (Augustin and Chua, 1988) ซึ่งถือว่ามีความสูง โดยไขมันดังกล่าวมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 40-42 องศาเซลเซียส จะหลอมเหลวเป็นน้ำมันสีเหลืองและมีกลิ่นหอมซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายเนยโกโก้ (cocoa butter) แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลในด้านของการสกัดรวมทั้งสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะยังมีน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเมล็ดเงาะมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก และศึกษาสมบัติต่างๆ ของไขมันชนิดนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดไขมันดิบจากเมล็ดเงาะ
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันดิบจากเมล็ดเงาะ โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology)
3. ศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และองค์ประกอบกรดไขมันของไขมันเมล็ดเงาะ



การตรวจเอกสาร

เงาะและเมล็ดเงาะ

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเงาะ

เงาะเป็นพืชประเภทไม้ยืนต้นตระกูลเดียวกับลิ้นจี่และลำไยมีชื่อทั่วไปว่า Rambutan ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Nephelium lappaceum* L. วงศ์ *Sapindaceae* เงาะเป็นไม้ผลเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย ปลูกมากในแถบเอเชียอาคเนย์ โดยทั่วไปเงาะเป็นไม้ผลที่เจริญเติบโตได้ดี ในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง ในประเทศไทยจึงนิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ ประเทศไทยนับเป็นประเทศที่ปลูกเงาะในปริมาณมากประเทศหนึ่ง (กรมการค้าภายใน, 2531) โดยมีการปลูกเงาะได้ผลผลิตรวมทั้งประเทศประมาณ 600,000 – 700,000 ตันต่อปี ซึ่งผลผลิตที่ได้นอกจากจะมีการนำไปบริโภคผลสดแล้วยังมีการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรม เช่น เงาะกระป๋องและเงาะสอดไส้สับปะรดบรรจุกระป๋อง เป็นต้น ซึ่งจากการแปรรูปจะมีส่วนเหลือใช้คือส่วนเปลือกและเมล็ดเป็นจำนวนมาก มีรายงานว่าผลเงาะจะมีน้ำหนักอยู่ในช่วงประมาณ 20-60 กรัมต่อผล ซึ่งจะประกอบด้วยเนื้อ เปลือก และเมล็ดประมาณ 30-58, 40-60 และ 4-9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Tindall, 1994)

2. ลักษณะและองค์ประกอบของเมล็ดเงาะ

เมล็ดเงาะมีลักษณะแตกต่างกันตามช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเจริญเติบโตเมล็ดเงาะจะมีลักษณะเป็นสีขาว บาง นุ่ม และมีความยืดหยุ่น จากนั้นในช่วง 6 สัปดาห์เมล็ดเงาะจะเริ่มมีขนาดใหญ่และแข็งขึ้น น้ำหนักของเมล็ดเงาะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 7-13 ขณะที่ความยาวของเมล็ดเงาะจะเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 9 เปลือกหุ้มเมล็ดเงาะจะมีการพัฒนาเป็นชั้นสีขาวบางและกลายเป็นชั้นสีน้ำตาลซึ่งแยกอิสระจากส่วนเนื้อภายในสัปดาห์ที่ 14 เมล็ดเงาะที่สมบูรณ์และอยู่ในผลเงาะที่มีการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่จะมีลักษณะเป็นวงรีหรือรูปไข่แบน มีความยาวและความหนาประมาณ 20-35 และ 12-22 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Tindall, 1994)

เมล็ดเงาะประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน (สกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์) ไฟเบอร์ และเถ้า ในปริมาณ 11.9-14.1, 37.1-38.9, 2.8-6.6 และ 2.6-2.9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยความชื้น 34.1-34.6 เปอร์เซ็นต์ (Augustin and Chua, 1988) ในส่วนของไขมันพบว่าไขมันจากเมล็ดเงาะมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 40-42 องศาเซลเซียส จะหลอมเหลวเป็นน้ำมันสีเหลืองและมีกลิ่นหอม (Georgi, 1922) และมีรายงานว่าประกอบด้วย กรดอะราคิติก และกรดโอเลอิก 34.7 และ 42.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Tindall, 1994)

3. การใช้ประโยชน์จากเมล็ดเงาะ

เมล็ดเงาะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิต rambutan tallow ซึ่งเป็น ไขมันที่มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายเนยโกโก้ (Cocoa butter) ไขมันนี้สามารถรับประทานได้และยังนำไปใช้ในการทำสบู่หรือเทียนไขได้อีกด้วย (Tindall, 1994)

นอกจากนี้จากการตรวจสอบเอกสารพบว่างานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับเมล็ดเงาะ ส่วนใหญ่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิชั่นของสารสกัดจากเมล็ดเงาะ (Oates and Powell, 1996; Maisuthisakul *et al.*, 2007; Maisuthisakul *et al.*, 2008; Palanisamy *et al.*, 2008; Thitilertdecha *et al.*, 2008) ส่วนงานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการสกัดไขมันและองค์ประกอบทางเคมีของไขมันจากเมล็ดเงาะยังมีไม่มากนัก โดยพบว่ามีการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของไขมันหรือน้ำมันจากเมล็ดพืชที่ไม่ได้ใช้ในการผลิตไขมันหรือน้ำมันในทางการค้า (Non-traditional seed fats and oils) ในประเทศอินเดีย ทั้งหมด 75 สายพันธุ์ จากการศึกษพบว่าเมล็ดเงาะที่ศึกษามีปริมาณไขมันร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีจุดหลอมเหลวที่ 38 องศาเซลเซียส มีค่าสaponification number (Saponification number; SN) 191.4 ค่าไอโอดีน (Iodine value; IV) 44.2 และมีองค์ประกอบของกรดไขมัน ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (16:0) กรดสเตียริก (18:0) กรดโอเลอิก (18:1) กรดอะราคิติก(20:0) และกรดอะโดเลอิก (20:1) เป็น 2.0, 13.8, 45.3, 34.7 และ 4.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Mohibbe *et al.*, 2005)

ไขมันและน้ำมัน

ลิพิด เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน และชนิดที่มีขั้วเล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์และอะซีโตน เป็นต้น สามารถจำแนกประเภทตามเกณฑ์ต่างๆ ได้แก่ การจำแนกตามสถานะที่อุณหภูมิห้อง ในกรณีที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า น้ำมัน (Oils) ส่วนถ้ามีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า ไขมัน (Fats) การจำแนกตามความมีขั้วของลิพิด (Polarity) แบ่งได้เป็น ลิพิดที่เป็นกลาง (Neutral lipids) เช่น กรดไขมัน กลีเซอไรด์ สเตอรอล เป็นต้น และลิพิดที่มีขั้ว (Polar lipids) เช่น ฟอสโฟลิพิด ไกลโคลิพิด เป็นต้น การจำแนกตามโครงสร้างของลิพิด แบ่งได้เป็น ลิพิดที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน (Simple lipids) เป็นลิพิดที่ประกอบด้วยกรดไขมันและแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ เช่น เอซิลกลีเซอรอล สเตอรอล แวกซ์ เป็นต้น โดยปกติเมื่อย่อยสลายลิพิดประเภทนี้จะ ได้แอลกอฮอล์และกรดไขมัน ลิพิดที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Complex lipids) เช่น ฟอสโฟลิพิด ไกลโคลิพิด สฟิงโกลิพิด เป็นต้น เมื่อย่อยสลายลิพิดประเภทนี้จะ ได้สารประกอบที่แตกต่างกันตั้งแต่ 3 ชนิดขึ้นไป อนุพันธ์ของลิพิด (Derived lipids) เป็นสารประกอบที่ได้จากการย่อยสลายลิพิด 2 กลุ่มแรก เช่น กรดไขมัน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น (Keefe, 2002)

1. องค์ประกอบที่สำคัญของลิพิด (Major lipid components)

1.1 กรดไขมัน (Fatty acids)

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันหรือไขมันจะเป็นตัวกำหนดสมบัติทางกายภาพ ความคงตัว และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันหรือไขมัน โดยน้ำมันหรือไขมันที่พบในธรรมชาติจะมีปริมาณกรดไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว รวมถึงองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างนี้สามารถนำมาใช้ในการแยกแยะแหล่งที่มาของน้ำมันหรือไขมันได้ การกระจายตัวของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์จะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ ความคงตัวต่อการถูกออกซิไดซ์ และคุณค่าทางโภชนาการของไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R- คือ หมู่อัลคิลในโมเลกุลของกรดไขมัน และ -COOH คือ หมู่คาร์บอกซิล โดยหมู่คาร์บอกซิลจะมีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิกจึงทำให้กรดไขมันสามารถแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ และหมู่ R- มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกซึ่งละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วจึงทำให้

โมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและในน้ำมัน (นิธิยา, 2548) การแทนที่ของสายคาร์บอนที่หมู่ R- ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของชนิดของกรดไขมัน ซึ่งพบว่ากรดไขมันมีมากมายถึงกว่า 500 ชนิดแต่มีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อยๆ และมีความสำคัญ ตัวอย่างกรดไขมันที่พบบ่อย แสดงในตารางที่ 1

กรดไขมันสามารถแบ่งตามพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมันได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือกรดไขมันไม่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลเพียงตำแหน่งเดียว (Monounsaturated fatty acids) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลมากกว่า 1 ตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acids)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลเพียงตำแหน่งเดียว เช่น กรดโอเลอิก และกรดปาล์มมิโตเลอิก ซึ่งกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันทั่วไป (นิธิยา, 2548) ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลมากกว่า 1 ตำแหน่ง ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 ตำแหน่งพบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา ตัวอย่างของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิก จัดเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง พบมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดฝ้าย และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน กรดลิโนเลนิกจัดเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง พบมากที่สุดคือน้ำมันถั่วเหลือง กรดอะราคิโดนิกจัดเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 4 ตำแหน่ง พบมากในน้ำมันตับปลา และน้ำมันจากปลาทะเลต่างๆ เป็นต้น ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การเขียนชื่อทางเคมี ชื่อสามัญ และชื่อย่อของกรดไขมัน

ชื่อทางเคมี (Systematic name)	ชื่อสามัญ (Common name)	การเขียนย่อ (Numerical abbreviation)
กรดไขมันอิ่มตัว		
Butanoic	Butyric acid	4:0
Hexanoic	Caproic acid	6:0
Octanoic	Caprylic acid	8:0
Decanoic	Capric acid	10:0
Dodecanoic	Lauric acid	12:0
Tetradecanoic	Myristic acid	14:0
Hexadecanoic	Palmitic acid	16:0
Octadecanoic	Stearic acid	18:0
Eicosanoic	Arachidic acid	20:0
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
<i>cis</i> -9-Hexadecenoic	Palmitoleic acid	16:1 ω 7
<i>cis</i> -9-Octadecenoic	Oleic acid	18:1 ω 9
<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Octadecadienoic	Linoleic acid	18:2 ω 6
<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Octadecatrienoic	Linolenic acid	18:3 ω 3
<i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Octadecatrienoic	γ -Linolenic acid	18:3 ω 6
<i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14- Eicosatetraenoic	Arachidonic acid	20:4 ω 6
<i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17- Eicosapentaenoic	Eicosapentaenoic acid (EPA)	20:5 ω 3
<i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19- Docosahexaenoic	Docosahexaenoic acid (DHA)	22:6 ω 3

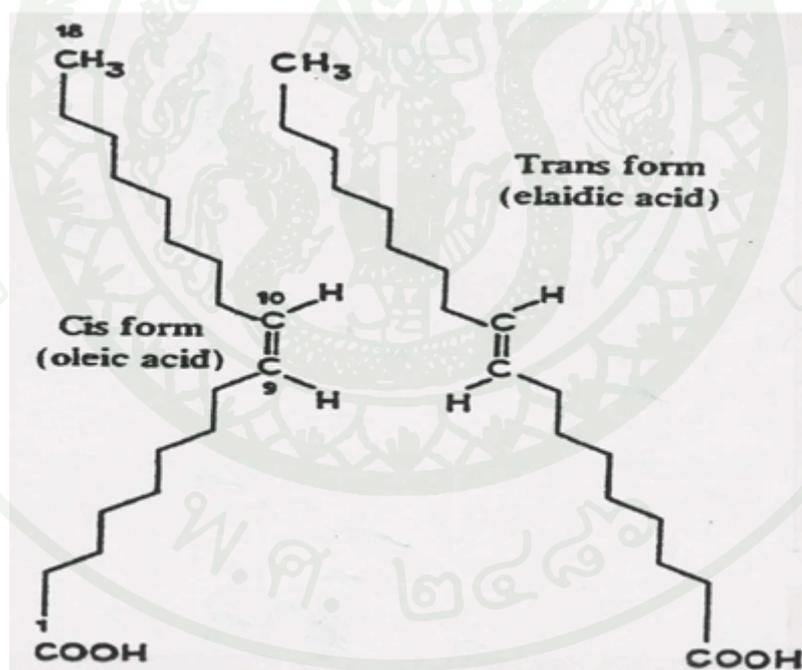
ที่มา: คัดแปลงจาก McClements and Decker (2007)

ตารางที่ 2 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในไขมันและน้ำมัน

Fats and oils	Fatty acid											
	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0
Arachis (groundnut)					<0.6	6.0-16	<1.0	1.3-6.5	35-72	13-45	<1	1-3
Cottonseed					0.4-2	17-31	0.5-2	1-4	13-44	33-59	0.1-2.1	<0.7
Lard and rendered pork fat					0.5-2.5	20-32	1.7-5	5-24	35-62	3-16	<1.5	<1
Maize (Corn)					<0.1	8-19	<0.5	0.5-4	19-50	34-62	<2	<1
Mustard seed					<1	0.5-4.5	<0.5	0.5-2	8-23	10-24	6-18	<1.5
Premier jus and edible tallow					1.4-7.8	17-37	0.7-8.8	6-40	26-50	0.5-5	<2.5	<0.5
Safflower seed					<1	2-10	<0.5	1-10	7-42	55-81	<1	<0.5
Sesame seed					<0.5	7-12	<0.5	3.5-6	35-50	35-50	<1	<1
Soybean					<0.5		7-14		1.4-5.5	4-11	44-62	4-11
Sunflower seed					<0.5		3-10		1-10	<0.7	20-75	<0.7
Olive					<0.05		7.5-20		0.5-3.5	<1.5	3.5-20	<1.5
Coconut	<1.2	3.4-15	3.2-15	41-56	13-23		4.2-12		1-4.7		0.9-3.7	
Palm				<1.2	0.5-5.9		32-59		1.5-8	<1.5	5-14	<1.5
Palm kernel	<0.5	2.4-6.2	2.6-7	41-55	14-20		6.5-11		1.3-3.5		0.7-54	
Grapeseed				<0.5	<0.3		5.5-11		3-6	<1	58-78	<1

ที่มา: Gunstone *et al.* (1986)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่ในธรรมชาติจะมีการจัดเรียงตัวในรูปซิสไอโซเมอร์ (*Cis-isomer*) โดยไฮโดรเจนอะตอมที่จับกับคาร์บอนอะตอมในสายโซ่ตรงจะอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ ในขณะที่ทรานส์ไอโซเมอร์ (*Trans-isomer*) ไฮโดรเจนอะตอมที่จับกับคาร์บอนอะตอมในสายโซ่ตรงจะอยู่ตรงข้ามกัน (ภาพที่ 1) โดยปกติในธรรมชาติจะพบกรดไขมันชนิดทรานส์น้อยมาก ทรานส์ไอโซเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติพบได้ในพืชบางชนิด เช่น กระเทียม ญี่ปุ่น ถั่ว ผักโขม นอกจากนี้ยังพบได้ในอวัยวะและน้ำมันของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Kritchevsky, 1999) แหล่งของกรดไขมันชนิดทรานส์ในอาหารที่สำคัญ คือ น้ำมันที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันบางส่วน (*Partially hydrogenated oils*) ซึ่งพบได้ใน มาการีน และเนยขาว เป็นต้น การทำไฮโดรจิเนชันเป็นการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันเพื่อเปลี่ยนน้ำมันที่เป็นของเหลวให้มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ เช่น มีความคงตัวต่ออนุมูลอิสระ และการออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น (Simopoulos, 1996; Dutton, 1979)



ภาพที่ 1 ความแตกต่างระหว่างพันธะคู่แบบ cis และ trans ไอโซเมอร์ในกรดไขมันไม่อิ่มตัว

ที่มา: McClements and Decker (2007)

การบริโภคอาหารที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดทรานส์ในปริมาณสูงอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ เนื่องจากกรดไขมันชนิดนี้มีผลต่อระดับของไตรกลีเซอไรด์และคลอเลสเตอรอลในกระแสเลือด โดยมีคุณสมบัติในการเพิ่มระดับไตรกลีเซอไรด์ และคลอเลสเตอรอลชนิด Low density lipoprotein (LDL) นอกจากนี้ยังลดระดับของคลอเลสเตอรอลชนิด High density lipoprotein (HDL) ในกระแสเลือดอีกด้วย (McClements and Decker, 2007) จึงส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ากรดไขมันชนิดทรานส์มีสมบัติในการรบกวนเมตาบอลิซึมของกรดไขมันจำเป็นในเด็กทารกซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของเด็กได้ (Simopoulos, 1996)

การเรียกชื่อกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวตามตำแหน่งของพันธะคู่โดยนับตำแหน่งของคาร์บอนอะตอมจากปลายด้านหมู่เมทิลของกรดไขมัน เรียกว่า ระบบ โอเมก้า (Omega system) (McClements and Decker, 2007) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อันแรกที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3, 6 และ 9 นับจากปลายด้านหมู่เมทิล เรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 3, 6 และ 9 ตามลำดับ กรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 เช่น กรดแอลฟา-ลิโนเลนิก กรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก (EPA) กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก (DHA) เป็นต้น กรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 เช่น กรดลิโนเลอิก กรดอะราคิโดนิก เป็นต้น กรดไขมันชนิดโอเมก้า 9 เช่น กรดโอเลอิก เป็นต้น

กรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 3 มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับ และระบบประสาทเกี่ยวกับการพัฒนาและการเรียนรู้ รวมทั้งเกี่ยวกับเรตินาในการมองเห็น นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อโภชนาการและสุขภาพของคนเรา เช่น ช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมา ควบคุมระดับไลโปโปรตีน และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและหน้าที่ของเกล็ดเลือด การบริโภคกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 3 จึงลดโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคไขมันในเส้นเลือด โรคหัวใจและโรคซึมเศร้า เป็นต้น กรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 3 พบมากในปลาทะเล

1.2 เอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerols)

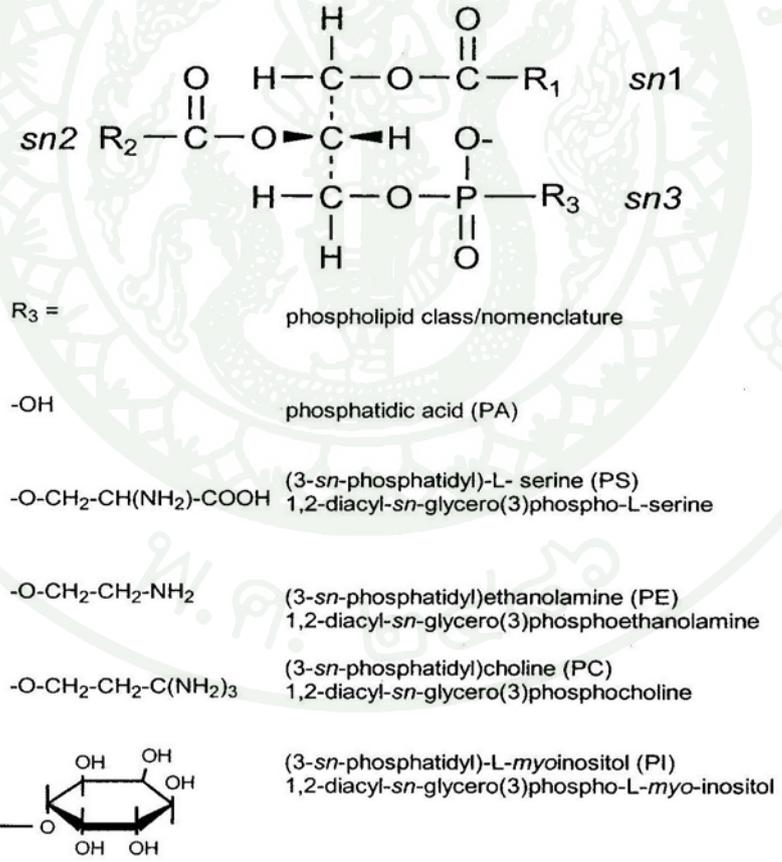
เอซิลกลีเซอรอลจัดเป็นองค์ประกอบหลักของไขมันและน้ำมัน กลีเซอรอลสามารถทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดไขมันได้ตั้งแต่ 1-3 โมเลกุล โดยกรดไขมันแต่ละตัวสามารถเข้าทำปฏิกิริยาที่คาร์บอนตำแหน่งใดของกลีเซอรอลก็ได้ กลีเซอรอลที่ทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน 1, 2 และ 3 โมเลกุลจะเรียกว่า โมโน-, ได-, และไตรกลีเซอไรด์ ตามลำดับ (Keefe, 2002)

ไตรกลีเซอไรด์จัดเป็นองค์ประกอบหลักของไขมันและน้ำมัน ส่วนโมโน-และไดกลีเซอไรด์จะพบปริมาณเล็กน้อยในไขมันและน้ำมัน เนื่องจากโมเลกุลของโมโน-และไดกลีเซอไรด์มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ทำให้สามารถละลายได้ในน้ำ (hydrophilic) และมีส่วนไฮโดรคาร์บอนที่ละลายได้ในไขมัน (hydrophobic) จึงมีการนำไปใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ในอาหาร

การจัดเรียงตัวของกรดไขมันในตำแหน่งที่ต่างกันบนโมเลกุลของกลีเซอรอล ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของไตรกลีเซอไรด์ในธรรมชาติ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันบางชนิด เช่น ไขวัว น้ำมันมะกอก น้ำมันถั่วลิสง จะมีการกระจายตัวบนโมเลกุลของกลีเซอรอลในตำแหน่งต่างๆ อย่างเท่าเทียมกัน อย่างไรก็ตามไขมันบางชนิดจะมีการกระจายตัวของกรดไขมันบนโมเลกุลของกลีเซอรอลอย่างมีแนวโน้มที่แน่นอน เช่น ไขมันจากพืชส่วนใหญ่จะพบว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมักจะอยู่บริเวณตำแหน่งที่ 2 ของไตรกลีเซอไรด์ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน ได้แก่ เนย โกล์ซึ่งกรดโอเลอิกมากกว่า 85% ของทั้งหมดจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 2 ของไตรกลีเซอไรด์ ขณะที่กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกจะอยู่ในตำแหน่งที่ 1 และ 3 ส่วนไขมันจากสัตว์พบว่ากรดไขมันอิ่มตัวมักจะอยู่บริเวณตำแหน่งที่ 2 ของไตรกลีเซอไรด์ ตัวอย่างเช่น ในไขมันนมและไขมันหมู กรดปาล์มิติกมักจะอยู่บริเวณตำแหน่งที่ 2 ของไตรกลีเซอไรด์ (McClements and Decker, 2007) นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของกรดไขมันในตำแหน่งที่ต่างกันบนโมเลกุลของกลีเซอรอลยังส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย โดยเมื่อไตรกลีเซอไรด์ถูกย่อยที่ลำไส้เล็ก กรดไขมันตำแหน่งที่ 1 และ 3 จะถูกตัดโดยเอนไซม์ไลเปสจากตับอ่อนส่งผลให้ได้กรดไขมันอิสระ 2 ตัวและโมโนกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล กรดไขมันดังกล่าวจะฟอร์ม insoluble calcium salts ในขณะที่เกิดการย่อยโดยเอนไซม์จากตับอ่อน ส่งผลให้การดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดต่ำ ในอาหารทารกจึงจัดให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีสายโซ่ยาวอยู่ที่ตำแหน่งที่ 2 ของไตรกลีเซอไรด์ เพื่อประกันว่าทารกจะสามารถดูดซึมได้ (Decker, 1996) นอกจากนี้การที่กรดไขมันดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการดูดซึมต่ำจึงให้พลังงานต่ำ และมีผลต่อปริมาณไขมันในเลือดน้อย เช่น น้ำมันหมูที่มีการดัดแปรให้มีกรดปาล์มิติก อยู่ที่ตำแหน่งที่ 1 และ 3 จะเพิ่มระดับของไขมันในกระแสเลือดน้อยกว่าน้ำมันหมูที่ไม่ได้มีการดัดแปรซึ่ง 65% ของกรดไขมันตำแหน่งที่ 2 เป็นกรดปาล์มิติก (McClements and Decker, 2007)

1.3 ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids)

ฟอสโฟลิพิดหรือฟอสโฟกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกลีเซอรอล กรดไขมัน หมู่ฟอสเฟต และสารประกอบไนโตรเจน โดยส่วนใหญ่หมู่ฟอสเฟตจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 ของโมเลกุลกลีเซอรอล (ภาพที่ 2) ตัวอย่างสารประกอบในกลุ่มฟอสโฟลิพิด เช่น ฟอสฟาติดีลคอรีน ฟอสฟาติดีลเซรีน ฟอสฟาติดีลเอทานอลามีน และฟอสฟาติดีลอินโนซิทอล เป็นต้น สารประกอบในกลุ่มฟอสโฟลิพิดที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ฟอสฟาติดีลคอรีนหรือเลซิทิน ซึ่งนำมาใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากโมเลกุลของเลซิทินมีส่วนที่เป็นกรดไขมันสายยาวซึ่งมีสมบัติไฮโดรโฟบิก และมีส่วนที่เป็นหมู่ฟอสเฟตต่ออยู่กับเบสซึ่งมีสมบัติไฮโดรฟิลิก อย่างไรก็ตามเลซิทินที่จำหน่ายในทางการค้าไม่ได้มีส่วนผสมของฟอสฟาติดีลคอรีนบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียวแต่จะมีฟอสโฟลิพิดชนิดอื่นและสารประกอบอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย

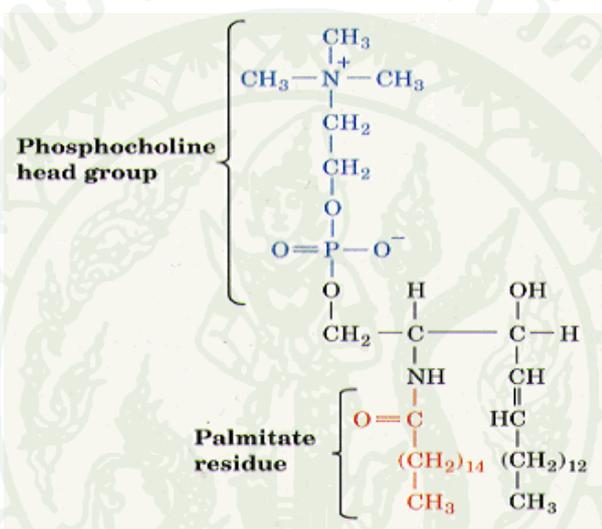


ภาพที่ 2 โครงสร้างของฟอสโฟลิพิด

ที่มา: Keefee (2000)

1.4 สฟิงโกลิพิด (Sphingolipids)

สฟิงโกลิพิดเป็นไขมันที่ประกอบด้วยสฟิงโกซีนเบส กรดไขมัน และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ฟอสเฟต และโมโนแซคคาไรด์ (Keefe, 2002) สารประกอบในกลุ่มนี้ที่พบได้แก่ สฟิงโกไมอีลินหรือสฟิงโกฟอสโฟลิพิด (ภาพที่ 3) เซราไมด์ เซเรโบรไซด์ และแกงกลิโอไซด์ ไขมันในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับเยื่อหุ้มเซลล์โดยเฉพาะในเนื้อเยื่อประสาท สฟิงโกลิพิดเป็นองค์ประกอบที่พบน้อยในไขมันอาหาร (McClements and Decker, 2007)

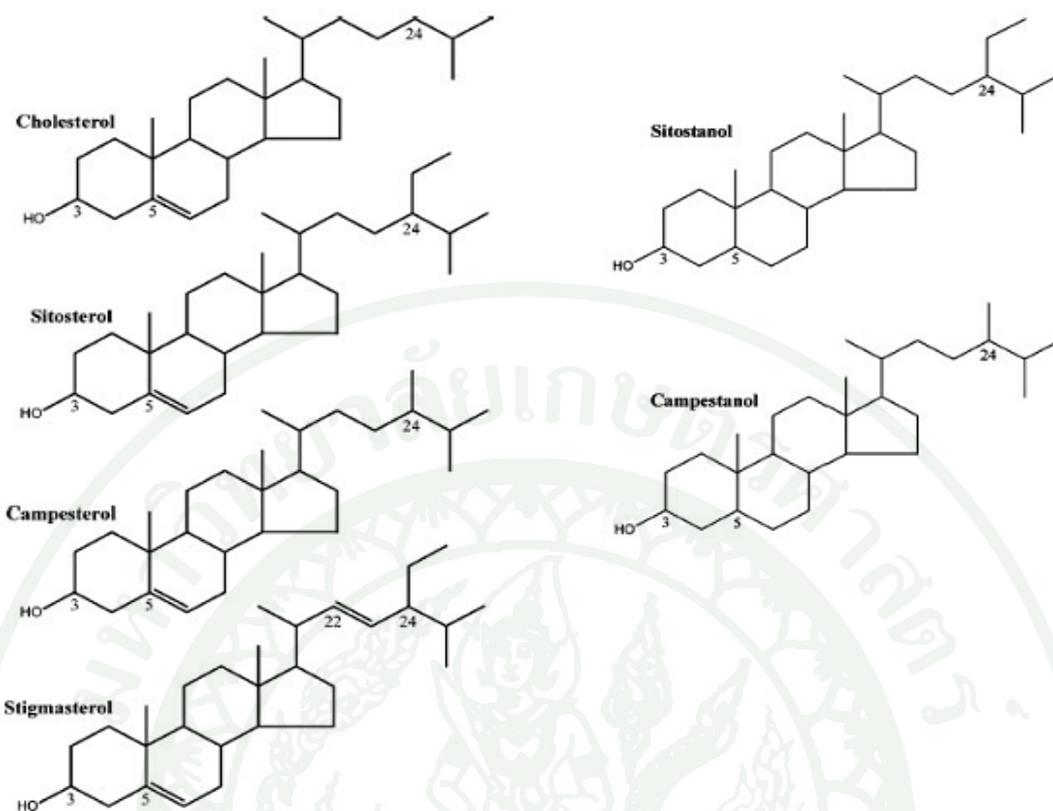


ภาพที่ 3 โครงสร้างของสฟิงโกไมอีลิน

ที่มา: McClements and Decker (2007)

1.5 สเตอรอล (Sterols)

สเตอรอลเป็นอนุพันธ์ของสเตอรอยด์ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งที่ 3 (ภาพที่ 4) สเตอรอลพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ สเตอรอลที่พบในพืชเรียกว่า ฟิโตสเตอรอล (phytosterol) ส่วนสเตอรอลที่พบในสัตว์เรียกว่า ซูโอสเตอรอล (zoosterol) สารประกอบสเตอรอลที่พบมากในไขมันจากสัตว์ ได้แก่ คอเลสเตอรอล (cholesterol) ส่วนที่พบมากในไขมันจากพืช ได้แก่ เบตาไซโตสเตอรอล (β -Sitosterol) และสติกมาสเตอรอล (Stigmasterol) ส่วนคอเลสเตอรอลจะพบได้ปริมาณเล็กน้อยในไขมันจากพืช (McClements and Decker, 2007) ปริมาณสารประกอบสเตอรอลในไขมันจากพืชบางชนิดดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 4 โครงสร้างของสารประกอบสเตอรอลบางชนิด

ที่มา: Ostlund (2002)

คอเลสเตอรอลทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในเยื่อหุ้มเซลล์สัตว์ โดยทำหน้าที่เพิ่มเสถียรภาพให้แก่โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดน้ำดี (bile acids) และ 7-dehydrocholesterol เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสังเคราะห์วิตามินดีจากผิวหนังโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดปริมาณมากโดยเฉพาะคอเลสเตอรอลชนิด low density lipoprotein (LDL) จะส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือด และเส้นเลือดหัวใจตีบตันได้ ดังนั้นเพื่อลดโอกาสเสี่ยงจึงควรลดการบริโภคไขมันจากสัตว์ (McClements and Decker, 2007)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของสเตอรอล (mg/kg) ในน้ำมัน

Vegetable oil	Cholesterol	Brassicasterol	Campesterol	Stigmasterol	β -Sitosterol
Castor oil	-	-	285	627	1254
Cocoa butter	59	-	266	769	1746
Coconut	23	-	18.2	296	1322
Coffee seed	-	-	3488	3672	9914
Corn oil	-	-	2691	702	7722
Cotton seed	-	-	170	42	3961
Illipe butter	-	-	739	323	3234
Kapok	-	-	256	57	2451
Linseed	42	-	1218	378	1932
Olive	-	-	28	14	1310
Palm	26	-	358	204	1894
Palm kernel	39.6	-	118	145	924
Peanut	-	-	360	2160	1536
Poppy	-	-	605	83	1870
Rapeseed	-	612	1530	-	3549
Rice bran	-	-	5056	2709	8849

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Vegetable oil	Cholesterol	Brassicasterol	Campesterol	Stigmasterol	β -Sitosterol
Safflower	-	-	452	313	1809
Safflower (oleic rich)	-	-	576	384	1996
Sal	-	-	1469	918	3427
Sesame	-	-	1170	616	3819
Shea butter	-	-	-	-	-
Soybean	-	-	720	720	1908
Sunflower	-	-	313	313	2352
Wheat germ	-	-	5720	-	17336

ที่มา: Gunstone *et al.* (1986)

ไฟโตสเตอรอลและคลอเลสเตอรอลมีโครงสร้างที่คล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ไฟโตสเตอรอลมีหมู่เมทิล (methyl) หรือเอทิล (ethyl) ที่โซ่ข้าง (side chain) ของคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 24 (Clifton, 2002; Moreau *et al.*, 2002; Hicks and Moreau, 2001) จากรายงานการวิจัยพบว่าการบริโภคไฟโตสเตอรอล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของ β -Sitosterol สามารถลดการดูดซึมคลอเลสเตอรอลในลำไส้เล็ก ทำให้ระดับของคลอเลสเตอรอลทั้งหมดและคลอเลสเตอรอลชนิด low density lipoprotein (LDL) ในเลือดลดลงซึ่งสามารถลดอัตราความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือด และเส้นเลือดหัวใจตีบตันทั้งในมนุษย์และสัตว์ (Clifton, 2002; Du and Ahn, 2002; Piironen *et al.*, 2002; Hicks and Moreau, 2001; Toivo *et al.*, 2001; Maatta *et al.*, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าไฟโตสเตอรอลสามารถชะลอการเจริญเติบโตของมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (Piironen *et al.*, 2002; Toivo *et al.*, 2001; Maatta *et al.*, 1999) ไฟโตสเตอรอลมีประสิทธิภาพในการลดระดับ LDL-Cholesterol โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระดับของ HDL-Cholesterol และไตรกลีเซอไรด์ และให้ผลที่ไม่ต่างกันทั้งในผู้ป่วยที่มีระดับคลอเลสเตอรอลสูงและระดับคลอเลสเตอรอลปกติ ดังนั้นการบริโภคน้ำมันที่มีปริมาณไฟโตสเตอรอลสูง จะทำให้ร่างกายลดการดูดซึมคลอเลสเตอรอลอย่างมีนัยสำคัญและลดโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือด และเส้นเลือดหัวใจตีบตันได้อีกด้วย

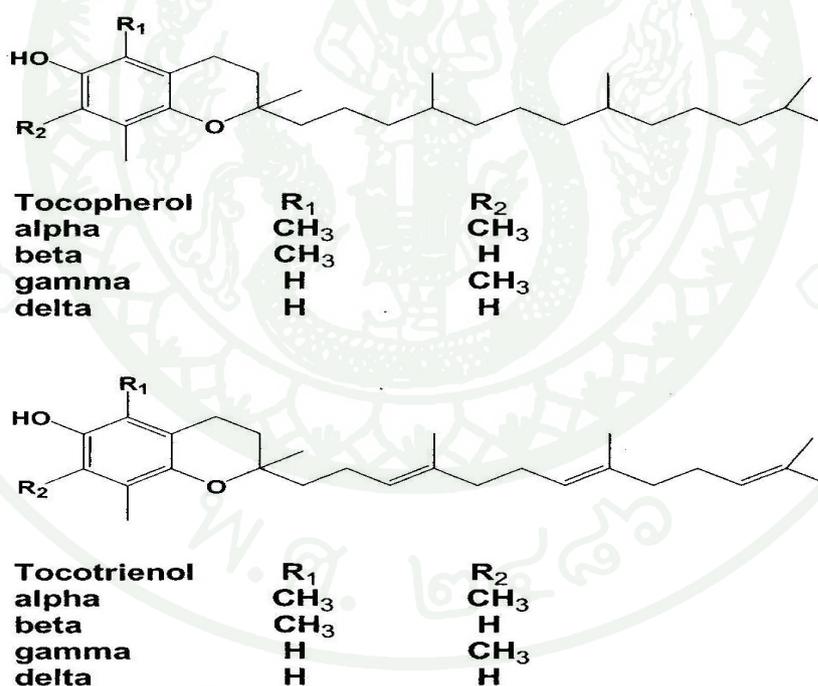
1.6 แวกซ์ (Waxes)

แวกซ์เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยปกติแวกซ์ที่ใช้กันในอุตสาหกรรมจะมีส่วนผสมที่หลากหลาย ได้แก่ แวกซ์เอสเทอร์ สเตอรอลเอสเทอร์ คีโตน แอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล (Parish *et al.*, 2002) แวกซ์สามารถแบ่งตามแหล่งที่มา ได้แก่ จากสัตว์ เช่น ขี้ผึ้ง จากพืช เช่น carnauba wax และจากแร่ เช่น ปีโตรเลียม แวกซ์ ในธรรมชาติจะพบแวกซ์ที่บริเวณผิวของเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ โดยจะทำหน้าที่ยับยั้งการสูญเสียความชื้น ในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำแวกซ์มาใช้ในการเคลือบที่ผิวของผลไม้เพื่อลดการสูญเสียความชื้นและยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา (McClements and Decker, 2007)

1.7 สารประกอบอื่นๆ (Miscellaneous)

สารประกอบอื่นๆที่เป็นองค์ประกอบของไขมัน เช่น วิตามินที่ละลายในไขมัน ประกอบด้วย วิตามินเอ ดี อี และ เค สารสี ได้แก่ แคโรทีนอยด์ เป็นต้น

วิตามินอีเป็นวิตามินที่ละลายในไขมันซึ่งมีความสำคัญต่อคุณค่าทางโภชนาการ และความคงตัวของไขมันหรือน้ำมัน (Ramadan *et al.*, 2006) คุณสมบัติที่สำคัญของวิตามินอี ได้แก่ การทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน จากรายงานพบว่าประชากรที่ได้รับวิตามินอีหรือสารต้านออกซิเดชันอื่นในปริมาณต่ำส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดเพิ่มขึ้น (Gey *et al.*, 1991; Rimm *et al.*, 1993) นอกจากนี้วิตามินอีในไขมันและน้ำมันยังมีความสำคัญต่อการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในไขมันและน้ำมัน โดยเฉพาะการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (Saloua *et al.*, 2009; Ramadan *et al.*, 2006; Eldin and Adersson, 1997) วิตามินอีมีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟา- เบตา- แกมมา- เดลตา- โทโคฟีรอล และแอลฟา- เบตา- แกมมา- เดลตา- โทโคไตรอีนอล (ภาพที่ 5) วิตามินอีในรูปแอลฟา-โทโคฟีรอลจัดเป็นวิตามินอีในรูปที่มี biological activity สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิตามินอีในฟอร์มอื่นๆ (Saloua *et al.*, 2009; Ramadan *et al.*, 2006; Kallio *et al.*, 2002) ปริมาณวิตามินอีในไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงในตารางที่ 4



ภาพที่ 5 โครงสร้างของโทโคฟีรอลชนิดต่างๆ

ที่มา: Keefe (2002)

ตารางที่ 4 ปริมาณโทโคฟีรอลในไขมันและน้ำมันบางชนิด

ไขมันหรือน้ำมัน	ปริมาณโทโคฟีรอล (เปอร์เซ็นต์)			
	แอลฟา	แกมมา	เดลตา	รวม
เนย	tr	tr	tr	0.002-0.004
เนยโกโก้	tr	tr	tr	0.003-0.013
น้ำมันมะกอก	tr	tr	tr	0.003-0.03
น้ำมันตับปลาสด	tr	tr	tr	0.026
น้ำมันดอกคำฝอย ^c	tr	tr	tr	0.080
น้ำมันลินซีด	tr	tr	tr	0.11
น้ำมันละหุ่ง	tr	tr	tr	0.05
น้ำมันงา ^r	tr	tr	tr	0.018
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	tr	tr	tr	0.07
ไข่วัว	tr	tr	tr	0.001
น้ำมันหมู	0.0023	tr	tr	0.0027
น้ำมันมะพร้าว	0.0036	tr	tr	0.0083
น้ำมันปาล์ม	0.03-0.05	tr	tr	0.056
น้ำมันรำข้าว ^c	0.075	0.026	tr	0.101
น้ำมันรำข้าว ^r	0.058	0.033	tr	0.019
น้ำมันข้าวโพด ^r	0.009	0.081	tr	0.090
น้ำมันเมล็ดกระเจียว	0.031	0.043	tr	0.074
น้ำมันเมล็ดฝ้าย ^c	0.076	0.034	tr	0.110
น้ำมันเมล็ดฝ้าย ^r	0.041	0.036	0.009	0.086
น้ำมันถั่วลิสง	0.013	0.014	0.007	0.086
น้ำมันถั่วเหลือง	0.020	0.098	0.050	0.168
น้ำมันวีทเจอร์ม ^c	0.06	tr	0.005	0.18-0.45

หมายเหตุ tr คือ พบในปริมาณน้อยมาก; c คือ น้ำมันดิบ; r คือ น้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว

ที่มา: Swern (1982)

2. สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและน้ำมัน

2.1 สมบัติทางเคมี (Chemical properties)

สมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมันเป็นการวัดที่สามารถบ่งบอกถึงสมบัติเฉพาะของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ในระดับอุตสาหกรรมจะนิยมใช้สมบัติเหล่านี้ในการอธิบายคุณลักษณะเฉพาะของไขมันหรือน้ำมันที่ใช้ในการแปรรูปรวมทั้งอาจใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของไขมันหรือน้ำมันอีกด้วย สมบัติทางเคมีที่สำคัญมีดังนี้ คือ

2.1.1 ค่าไอโอดีน (Iodine value)

ค่าไอโอดีนแสดงถึงจำนวนไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม (Nichols and Sanderson, 2003) ในการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนอาศัยหลักการที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจะทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนที่มากเกินพอในที่มีด จากนั้นทำการไตเตรทเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของไอโอดีนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาแล้ว คำนวณปริมาณไอโอดีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อหาค่าไอโอดีนต่อไป ค่าไอโอดีนของไขมันและน้ำมันเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันและน้ำมันนั้นๆ (Abdalla *et al.*, 2006; Giannelos *et al.*, 2005) ในกรณีที่ค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มากส่งผลให้เกิดการหืนแบบออกซิเดชัน (oxidative rancidity) ได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามการที่ไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มากอาจเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าไขมันหรือน้ำมันนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากอาจเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังอาจใช้เป็นดัชนีในการตรวจสอบและควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ (Nichols and Sanderson, 2003) เช่น การใช้ค่าไอโอดีนในการควบคุมระดับของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในการผลิตเนยเทียม เพื่อให้ได้เนยเทียมที่มีสมบัติในการกระจายได้ดี ค่าไอโอดีนของไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงในตารางที่ 5

2.1.2 ค่าสaponification (Saponification value)

ค่าสaponification แสดงถึงจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์จำนวน 1 กรัม (Bockisch, 1998) ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล ในการวิเคราะห์ค่าสaponification ทำโดยใช้ด่างในปริมาณที่มากเกินไปไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมัน จากนั้นทำการไตเตรทเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของด่างที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา แล้วคำนวณปริมาณด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อหาค่าสaponification ต่อไป ค่าสaponification ใช้เป็นตัวบ่งชี้ขนาดโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ (Nichols and Sanderson, 2003) ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าสaponification สูงแสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก และต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทำนองเดียวกันถ้าค่าสaponification ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย และใช้ด่างจำนวนน้อยในการไฮโดรไลซิส (Onyieke and Acheru, 2002; Dosunmu and Ochu, 1995) สารที่สaponification ได้ในไขมันและน้ำมัน เช่น เอซิดกลีเซอรอล ฟอสโฟลิพิด และแว็กซ์ เป็นต้น ค่าสaponification ของไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงในตารางที่ 5

2.1.3 ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ (Unsaponification matter)

ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณสารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมันซึ่งเหลืออยู่หลังการทำสaponification ได้แก่ สารจำพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน วิตามินอี โพลีฟีนอล แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสเตอรอล (คอเลสเตอรอล และไฟโตสเตอรอล เป็นต้น) ในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ทำโดยไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันด้วยด่าง แล้วแยกส่วนประกอบที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ (สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง) ออกมา และชั่งน้ำหนักที่แน่นอนเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ต่อไป โดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมีส่วนที่สaponification ไม่ได้ปนอยู่ไม่เกิน 2 % (นิธิยา, 2548) ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ของไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงในตารางที่ 5

2.2 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมันนั้นๆ จึงใช้ประโยชน์ของสมบัติทางกายภาพในการจำแนกและบ่งชี้ชนิดของไขมันและน้ำมัน นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันยังส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไขมันในอาหาร และใช้เป็นดัชนีในการประเมินแนวทางในการแปรรูปและการนำไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไปใช้ประโยชน์อีกด้วย (Sikorski and Kolakowska, 2003) สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันที่สำคัญมีดังนี้ คือ

2.2.1 จุดหลอมเหลว (Melting point)

จุดหลอมเหลว คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวทั้งหมด จุดหลอมเหลวของไขมันแต่ละชนิดอาจเป็นช่วงกว้างหรือแคบแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมันนั้นๆ ไตรกลีเซอไรด์เหล่านั้นอาจมีการจัดเรียงตัวในรูปแบบที่ต่างกัน นอกจากนี้ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์อาจประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ กันซึ่งความยาวของสายโซ่คาร์บอนและจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันก็จะส่งผลต่อจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ด้วย (Sikorski and Kolakowska, 2003) องค์ประกอบของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงอาจประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่มีความคงตัวมากหรือไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงและมีสายโซ่คาร์บอนที่ยาว ในขณะที่เดียวกันองค์ประกอบของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำอาจประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่มีความคงตัวน้อยหรือไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงและมีสายโซ่คาร์บอนที่สั้น (Abdulkarim *et al.*, 2005; Rouhou *et al.*, 2007; Saloua *et al.*, 2009) แต่อย่างไรก็ตามไขมันที่บริสุทธิ์หรือประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันอาจทำได้โดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน (Thermal profile) ของไขมันโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์เข้ามาช่วย เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์อาศัยหลักการดูดและคายความร้อนของตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของตัวอย่างในระบบ โดยเครื่องจะทำการบันทึกสัญญาณซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่างเปรียบเทียบกับภาชนะอ้างอิง (Reference pan) และพิจารณาจุดหลอมเหลวของตัวอย่างได้จากกราฟของการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง

2.2.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะเป็นค่าที่เปรียบเทียบความหนาแน่นของสารใดๆ กับความหนาแน่นของน้ำ โดยปกติไขมันและน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันจึงมีค่าไม่เกิน 1 ในการวัดความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันนิยมวัดที่ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูงอาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบมีน้ำหนักโมเลกุลและความไม่อิ่มตัวเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นความถ่วงจำเพาะจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน (Sikorski and Kolakowska, 2003) ไขมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีค่าความหนาแน่น หรือความถ่วงจำเพาะแตกต่างไปจากเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2548) ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงในตารางที่ 5

2.2.3 ค่าการหักเหแสง (Refractive index)

ค่าการหักเหแสงเป็นอัตราส่วนระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของแสงเมื่อผ่านตัวกลางใดๆ (Bockisch, 1998) ซึ่งมีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจสอบชนิด คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน (Shahidi and Wanasundara, 2002) การวัดค่าการหักเหแสงนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงอาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ ขึ้นกับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบ ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนหรือจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะมีค่าการหักเหแสงเพิ่มขึ้น ค่าการหักเหแสงของไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงในตารางที่ 5

2.2.4 สี (Color)

สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสารสีที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพที่ดีกว่า น้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม (นิธิยา, 2548) น้ำมันที่ใช้ในการบริโภคทั่วไป เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันมะกอก และน้ำมันข้าวโพด มีค่าสีในระบบ CIELAB ดังนี้ คือ ค่า L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 63.4-69.5, 3.8-4.4 และ 9.2-10.4 ตามลำดับ

2.2.5 โครงสร้างผลึกของไขมัน (Crystal polymorphism)

ไตรกลีเซอไรด์มีโครงสร้างผลึกที่หลากหลายเนื่องจากสายของไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลสามารถจัดเรียงตัวในรูปผลึกที่ต่างกัน ไตรกลีเซอไรด์ที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันจะส่งผลให้มีจุดหลอมเหลวที่ต่างกันด้วย Larsson (1966) ได้แบ่งโครงสร้างผลึกของไขมันออกเป็น 3 กลุ่มตามโครงสร้างของหน่วยย่อย (subcell structure) ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของสายไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุล ได้แก่ α , β' และ β ซึ่งมีโครงสร้างของหน่วยย่อยเป็น hexagonal, orthorhombic-perpendicular และ triclinic-parallel ตามลำดับ (ภาพที่ 6) (Czerniak *et al.*, 2005) โครงสร้างผลึกของไขมันในรูปแบบที่ต่างกันจะมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermodynamic stability) ที่ต่างกัน โดย β -form จะมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุด รองลงมาคือ β' -form และ α -form ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าจุดหลอมเหลวของ β -form จะสูงกว่า β' -form และ α -form ตามลำดับ (McClements and Decker, 2007)

การตรวจวัดโครงสร้างผลึกของไขมันสามารถใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ต่างๆ ได้แก่ X-ray diffraction, DSC, IR, NMR, และ Raman spectroscopy (Hartel, 2001) ในการวิเคราะห์จะอาศัยพื้นฐานการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันของผลึกซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติทางโครงสร้างของไขมัน การทราบถึงโครงสร้างผลึกของไขมันเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตอาหาร ลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมจะขึ้นกับโครงสร้างผลึกของไขมัน (Bot *et al.*, 2003; Ghotra *et al.*, 2002; Hartel, 2001) เช่น ผลิตภัณฑ์มาการีนและสเปรด จะต้องการผลึกของ β' -form ส่วนเนยขาวที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หรือเนยโกโก้ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต จะต้องการผลึกของ β -form เป็นต้น

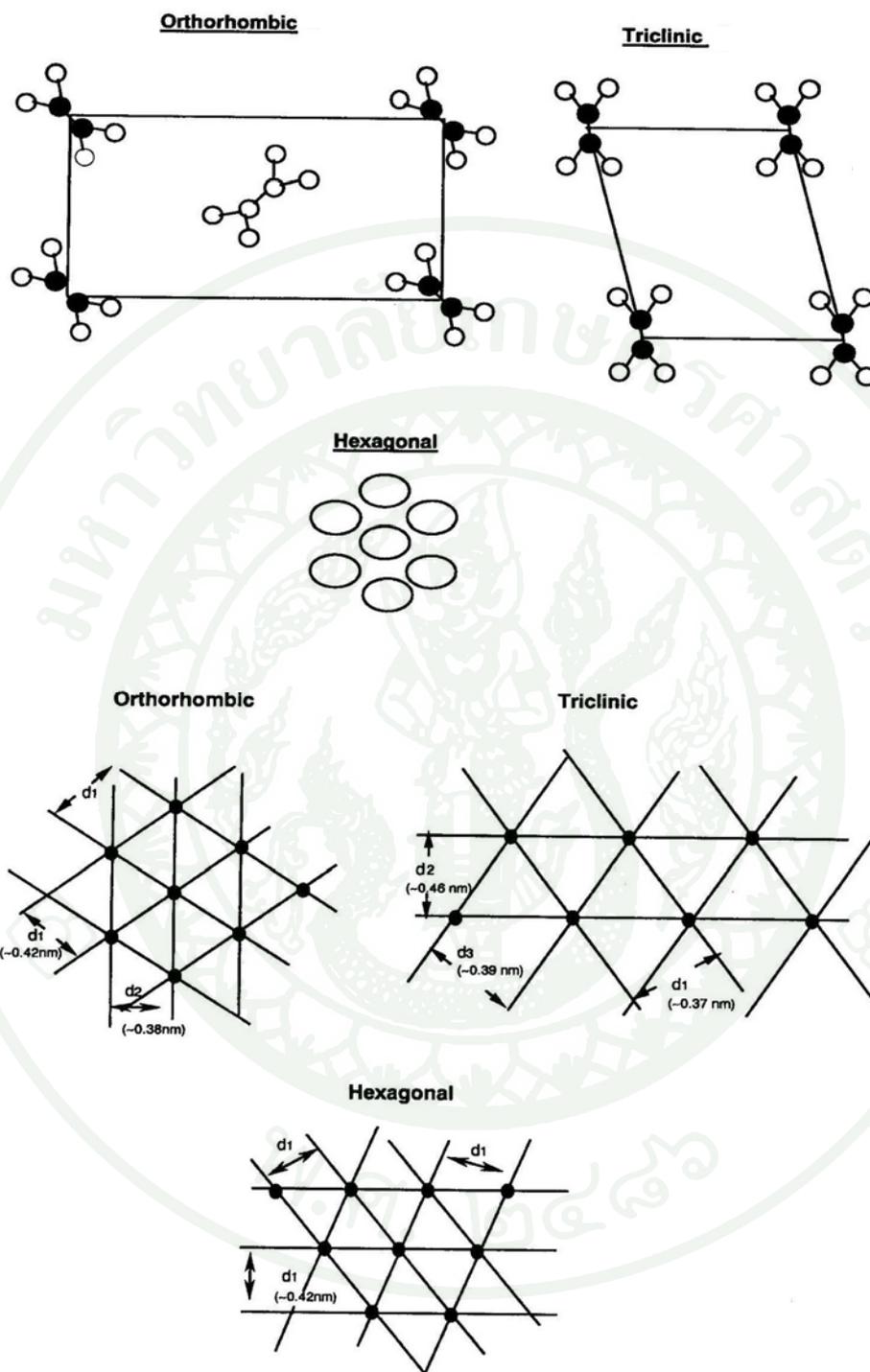
ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและน้ำมัน

Fats and oils	Properties				
	Specific gravity	Refractive index	Saponification value	Iodine value	Unsaponifiable matter (%)
Babassu	0.914-0.917	1.448-1.451	245-256	10	<1.2
Castor oil	0.945-0.965	1.473-1.477	176-187	81-91	1
Cocoa butter	0.856-0.864	1.453-1.458	190-200	33-40	0.2-0.6
Coconut oil	0.908-0.921	1.448-1.450	248-265	6-11	<1.5
Corn oil	0.917-0.925	1.465-1.468	187-195	103-128	<2.8
Cottonseed oil	0.918-0.926	1.458-1.466	189-198	99-119	<1.5
Grapeseed oil	0.923-0.926	1.473-1.477	188-194	130-138	<2
Groundnut oil	0.914-0.917	1.460-1.465	187-196	80-106	<1
Hempseed oil	0.923-0.925	1.470-1.473	190-193	140-175	1
Linseed oil	0.931-0.936	1.400-1.484	189-195	177	1.5
Mustard seed oil	0.910-0.921	1.461-1.469	170-184	92-125	1.5
Olive oil	0.910-0.916	1.468-1.475	184-196	75-94	1.5
Palm oil	0.891-0.899	1.449-1.455	190-209	50-55	<1.2

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Fats and oils	Properties				
	Specific gravity	Refractive index	Saponification value	Iodine value	Unsaponifiable matter (%)
Palm kernel oil	0.899-0.914	1.448-1.452	230-254	13-23	<1
Rapeseed oil	0.910-0.920	1.465-1.469	168-187	94-120	<2
Rice bran oil	0.916-0.921	1.470-1.473	181-189	99-108	3-5
Safflower oil	0.992-0.927	1.467-1.470	186-198	135-150	<1.5
Sesame	0.915-0.923	1.465-1.469	187-195	104-120	<2
Shea butter	0.859-0.869	1.463-1.467	178-190	53-65	2-11
Soybean oil	0.919-0.925	1.466-1.470	189-195	120-143	<1.5
Sunflower oil	0.918-0.923	1.467-1.469	188-194	110-143	<1.5
Tung oil	0.938-0.945	1.517-1.520	189-195	160-175	0.5
Wheat germ oil	0.900-0.933	1.470-1.480	184-185	120-130	2.6

ที่มา: คัดแปลงจาก Gunstone *et al.* (1986)



ภาพที่ 6 ลักษณะโครงสร้างหน่วยย่อยของโครงสร้างผลึกไขมันแบบต่างๆ

ที่มา: Ghotra *et al.* (2002)

การสกัดไขมันและน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย

การสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก วิธีการสกัดทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านวัตถุดิบที่บดละเอียด ไขมันหรือน้ำมันที่อยู่ในวัตถุดิบจะละลายออกมาในตัวทำละลาย เมื่อไขมันหรือน้ำมันละลายออกมาหมดแล้ว นำไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก โดยขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลาย มีดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบก่อนการสกัด

ขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการสกัด มีดังนี้ คือ ในขั้นแรกจะทำการกำจัดสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ วัตถุปลอมปน เช่น หิน ดิน ทราย โลหะ เศษกิ่งไม้และใบไม้ต่างๆ ที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้การบดวัตถุดิบและการสกัดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรออกก่อน จากนั้นจะทำการลดความชื้นของวัตถุดิบ เพื่อช่วยให้สามารถตัดหรือบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ไขมันหรือน้ำมันแยกตัวออกจากเซลล์ของเนื้อเยื่อน้ำมันของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดได้ดีขึ้น เนื่องจากสภาพอิมัลชันที่มีอยู่สูญเสียไปทำให้สามารถสกัดไขมันที่มีอยู่ออกได้ง่ายกว่าเดิม สำหรับการเลือกอุณหภูมิที่จะใช้ในการทำแห้งนั้นมักใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ความชื้นที่เหมาะสมหลังการทำแห้งควรอยู่ในช่วง 5-7 เปอร์เซ็นต์ (Molah *et al.*, 1990) จากนั้นจะทำการบดวัตถุดิบเพื่อลดขนาดอนุภาคของตัวอย่างส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปในตัวได้อย่างเต็มที่ ความละเอียดของขนาดอนุภาคนั้นจะพิจารณาให้เหมาะสมกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยควรบดให้เป็นชิ้นเล็ก แต่ไม่ควรละเอียดเกินไปเพราะจะมีผลต่อการไหลของตัวทำละลายในระบบการสกัด และอาจดูดซับน้ำมันที่สกัดได้บางส่วนทำให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้น้อยลง (William, 1966)

2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายทำได้โดยการให้ตัวทำละลายชะผ่านวัตถุดิบเพื่อสกัดไขมันและน้ำมันออกมาหลังจากนั้นระเหยเอาตัวทำละลายออกจากไขมันหรือน้ำมันที่สกัดได้ซึ่งคือน้ำมันดิบ (Crude oil) การสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายมีปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด ดังนี้

2.1 ความชื้นของวัตถุดิบ

เมล็ดพืชที่นำมาสกัดไขมันควรมีความชื้นต่ำโดยควรมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยา, 2548) เนื่องจากตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจะซึมผ่านเนื้อเยื่อที่ค่อนข้างมีความชื้นได้ยากส่งผลให้ตัวทำละลายทำงานได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ตัวทำละลายบางตัวอาจจะดูดความชื้นทำให้ห่อตัวไปด้วยน้ำและมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดลง (Shahidi and Wanasundara, 2002)

2.2 ขนาดของวัตถุดิบ

เมล็ดพืชที่นำมาสกัดไขมันควรมีการลดขนาดให้มีขนาดที่พอเหมาะ วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กๆ จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัตถุดิบส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับวัตถุดิบได้มากขึ้น (Mani *et al.*, 2007) แต่อย่างไรก็ตามถ้าขนาดของวัตถุดิบเล็กเกินไปอาจทำให้วัตถุดิบอัดกันแน่นส่งผลให้ตัวทำละลายซึมผ่านเข้าสู่วัตถุดิบได้ยากขึ้น (นิธิยา, 2548) ส่วนถ้าวัตถุดิบมีขนาดใหญ่เกินไปจะส่งผลให้ตัวทำละลายซึมผ่านเข้าสู่วัตถุดิบได้ยากเช่นกันเนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อย (Mani *et al.*, 2007) ดังจะเห็นได้จากการศึกษาการสกัดน้ำมันโรสฮิป โดยศึกษาผลของขนาดเมล็ดโรสฮิป 3 ระดับ ได้แก่ ขนาดเล็กกว่า 0.6, 0.6-1 และ 1-2 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของเมล็ดโรสฮิปให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง โดยในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดโรสฮิปที่มีขนาดเล็กกว่า 0.6 มิลลิเมตร จะได้ร้อยละของปริมาณน้ำมันสูงกว่าการสกัดน้ำมันจากเมล็ดโรสฮิปที่มีขนาด 1-2 มิลลิเมตร ถึงประมาณ 3 เท่า (Franco *et al.*, 2007) เช่นเดียวกับการสกัดน้ำมันรำข้าวพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของก้อนรำข้าวที่ใช้ในการสกัดให้สูงขึ้นในช่วง 9-17 มิลลิเมตร ก็ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลงเช่นกัน (Amarasinghe and Gangodavilage, 2004) นอกจากนี้ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม โดยศึกษาขนาดในช่วง 0.3-1.7 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดให้สูงขึ้นในช่วงแรกจะส่งผลให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งวัตถุดิบมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดให้สูงขึ้นอีกจะส่งผลให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้ลดลง (Mani *et al.*, 2007)

2.3 ระยะเวลาในการสกัด

ในการสกัดไขมันและน้ำมันต้องใช้เวลาในการสกัดที่เหมาะสมถ้าน้อยเกินไป ผลผลิตที่ได้จะต่ำและถ้าใช้เวลานานเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและเวลา จากการศึกษา

การสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายพบว่าอัตราการสกัดน้ำมันจะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ในช่วงแรกของการสกัด หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 40 นาที อัตราการสกัดจะลดลงเรื่อยๆ และคงที่ในที่สุด (Amarasinghe and Gangodavilage, 2004) นอกจากนี้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมโดยศึกษาระยะเวลาในการสกัดในช่วง 2-6 ชั่วโมง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกจะส่งผลให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่ระยะเวลาหนึ่งเมื่อทำการสกัดต่อไปปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้ก็จะไม่เพิ่มขึ้นอีก (Mani *et al.*, 2007)

2.4 ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้

ในการสกัดไขมันและน้ำมันถ้าใช้ปริมาณตัวทำละลายในการสกัดมากจะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้มาก ในขณะที่เดียวกันก็ต้องใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายออกไปมากเช่นกัน ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสม (นิธิยา, 2548) จากการศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดโรสฮิป โดยใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อเมล็ดโรสฮิป 15:1, 25:1 และ 50:1 พบว่าการสกัดน้ำมันโดยใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อเมล็ดโรสฮิป 50:1 จะส่งผลให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดโดยสูงกว่าการใช้อัตราส่วน 15:1 ถึงประมาณ 4 เท่า (Franco *et al.*, 2007)

2.5 ชนิดของตัวทำละลาย

ในการสกัดไขมันและน้ำมันนั้นสามารถใช้ตัวทำละลายในการสกัดได้หลากหลายชนิด ตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างกันออกไปต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช ดังจะเห็นได้จากการศึกษาการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และอะซีโตน พบว่าการสกัดน้ำมันโดยใช้เฮกเซนจะให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้สูงสุด คือ 33.47 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยอะซีโตน 30.33 เปอร์เซ็นต์ และปิโตรเลียมอีเทอร์ 29.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Mani *et al.*, 2007) หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้ตัวทำละลายมีดังนี้ คือ ตัวทำละลายที่ดีต้องสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่สกัดได้ ไม่ละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ ไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน มีจุดเดือดต่ำสามารถแยกออกจากน้ำมันดิบได้ง่าย นอกจากนั้นควรมีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่ายด้วย (Mowlah *et al.*, 1990)

2.6 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

การเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำละลายจะส่งผลให้สามารถสกัดน้ำมันได้ดีขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ของตัวทำละลายและน้ำมันสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าเมื่อทำการสกัดไขมันที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายอาจทำให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้ลดลงเช่นกัน จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม โดยศึกษาอุณหภูมิในการสกัดในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดให้สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิที่สกัดสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายจะพบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง (Mani *et al.*, 2007)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface methodology; RSM)

เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนอง (Response) ต่อทริทเมนต์ที่มีลักษณะเป็นอิทธิพลเชิงปริมาณ (Quantitative effects) เช่น ระดับความเข้มข้นของสาร อุณหภูมิ เวลา เป็นต้น ซึ่งจะมีการใช้แผนภาพคอนทัวร์ (Contour plot) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เป็นที่น่าสนใจของนักวิจัย ผลที่ตามมาคือ นักวิจัยสามารถที่จะหาสูตรหรือสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้นได้เมื่อพิจารณาปัจจัยที่น่าสนใจเหล่านั้นพร้อมๆ กัน โดยความรู้พื้นฐานที่ต้องใช้คือ การวางแผนการทดลอง (Experimental design) การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression analysis) และความรู้ในการใช้โปรแกรมสร้างแผนภาพคอนทัวร์ (อนุวัตร, 2549)

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีการพื้นผิวตอบสนองสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + E$$

โดยที่ Y คือ ค่าตอบสนอง (response) ซึ่งเป็นตัวแปรตาม (dependent variable)

X_1, X_2, \dots, X_k คือ ตัวแปรที่สนใจ ซึ่งเป็นตัวแปรต้น (independent variables)

E = error term ของความสัมพันธ์

ความสัมพันธ์ หรือฟังก์ชันของตัวแปรเหล่านี้มักใช้สมการลำดับที่หนึ่ง (First order) หรือสมการลำดับที่สอง (Second order) หรือแบบจำลองพหุนาม (Polynomial model) เป็นตัวอธิบาย โดยวิธีการทางสถิติที่ใช้คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (The least square method) เพื่อประมาณค่าของ parameter ต่างๆ

2. แผนภาพคอนทัวร์ (Contour plot)

แผนภาพคอนทัวร์ เป็นอนุกรม (Series) ของเส้นหรือกราฟซึ่งมีค่าที่แน่นอนและคงที่ สอดคล้องกับระดับของปัจจัยที่เปลี่ยนไป แผนภาพคอนทัวร์ที่สร้างเป็นแผนภาพ 3 มิติ เรียกว่า พื้นผิวตอบสนอง (Surface plot)

3. การดำเนินการวิธีพื้นผิวตอบสนอง

มีขั้นตอนหลักดังนี้ คือ ขั้นแรกทำการเลือกแผนการทดลองที่เหมาะสมที่สามารถให้ข้อมูลเพียงพอในการสร้างแผนภาพคอนทัวร์ เมื่อได้ข้อมูลจากการทดลองแล้วทำการสร้างสมการถดถอย (Regression equation) ที่ดีที่สุด และสร้างแผนภาพจากสมการที่หามาได้พร้อมทั้งหาสถานะที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จากนั้นทำการทวนสอบเพื่อพิจารณาว่าสมการที่ได้มีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ในกรณีที่สมการมีความไม่เหมาะสมให้ทำการสร้างสมการใหม่

4. Central Composite Design (CCD)

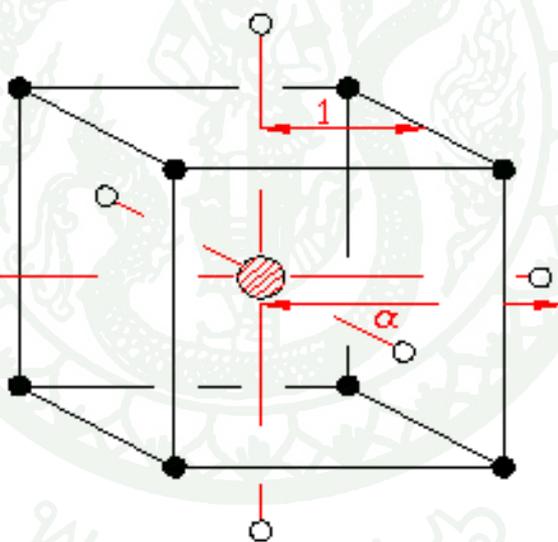
เป็นแผนการทดลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาวิธีการพื้นผิวตอบสนอง แผนการทดลองนี้เป็นแผนการทดลองที่เพิ่มการทดลองระหว่างระดับของปัจจัย โดยสิ่งทดลอง (Treatment combinations หรือ Design points) ที่ใช้ในการทดลอง จะประกอบด้วย

2^k factorial points (เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัยที่ศึกษา) ซึ่งจะใช้เพียง 1 ซ้ำ โดย 2^k factorial points จะประกอบด้วยสิ่งทดลอง (Treatment combinations) ดังต่อไปนี้ คือ $(-1, -1, \dots, -1)$, $(1, -1, \dots, -1)$, ..., $(1, 1, \dots, -1)$, $(1, 1, \dots, 1)$

2k star point (เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัยที่ศึกษา) ซึ่งจะใช้เพียง 1 ซ้ำ โดย 2k star point จะประกอบด้วยสิ่งทดลอง (Treatment combinations) ดังต่อไปนี้ คือ $(-\alpha, 0, \dots, 0)$, $(\alpha, 0, \dots, 0)$, ..., $(0, 0, \dots, -\alpha)$, $(0, 0, \dots, \alpha)$ เมื่อ $\alpha = 2^{k/4}$

center point ซึ่งจะใช้ c ซ้ำ คือ จะใช้กี่ซ้ำก็ได้ โดย center point จะมีสิ่งทดลอง (Treatment combinations) คือ $(0, 0, \dots, 0)$

ตัวอย่างแผนการทดลองแบบ Central Composite Design ที่มี 3 ปัจจัย ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจะประกอบด้วยสิ่งทดลอง (Treatment combinations) ดังต่อไปนี้ คือ 2^3 factorial points ได้แก่ $(-1, -1, -1)$, $(1, 1, 1)$, $(-1, 1, 1)$, $(1, -1, -1)$, $(-1, 1, -1)$, $(1, 1, -1)$, $(-1, -1, 1)$, $(1, -1, 1)$, 2(3) star points ได้แก่ $(0, 1.682, 0)$, $(0, 0, 1.682)$, $(0, 0, -1.682)$, $(1.682, 0, 0)$, $(0, -1.682, 0)$, $(-1.682, 0, 0)$ และ center point คือ $(0, 0, 0)$ (Mani, et al., 2007)



ภาพที่ 7 แผนการทดลองแบบ Central Composite Design สำหรับ 3 ปัจจัย

ที่มา : Hu (1999)

5. การใช้ประโยชน์ของเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง

เทคนิคพื้นผิวตอบสนองถูกนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านอาหาร โดยอาจแบ่งแนวทางการใช้ประโยชน์ได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ (Lee *et al.*, 2006) ได้แก่ การใช้ประโยชน์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ (Process optimization) เช่น การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากผลเบอร์รี่ (Cacace and Mazza, 2003) การสกัดอีพีนิงพริมโรส (Wettasinghe and Shahidi, 1999) การสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกเมล็ดทานตะวัน (Goa and Mazza, 1996) การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะรุม (Mani *et al.*, 2007) เป็นต้น และ การใช้ประโยชน์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ (Product optimization) เช่น การหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไส้กรอก (Colmenero *et al.*, 1995) ขนมอบบี้ (Thakur and Saxena, 2000) แป้งสำหรับทำบิสกิต (Gallagher, 2003) เค้กแครอท (Gan *et al.*, 2007) เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

1.1 เมล็ดเงาะพันธุ์โรงเรียน (บริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน), ประเทศไทย)

1.2 เนยโกโก้ (Siam Cocoa Products Co Ltd., ประเทศไทย)

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับสกัดไขมัน

2.1.1 เฮกเซน (Hexane: Mallinckrodt Baker, Inc., สหรัฐอเมริกา)

2.1.2 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether: Mallinckrodt Baker, Inc., สหรัฐอเมริกา)

2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าไอโอดีน

2.2.1 โปแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide: Ajax Finechem pty Ltd., ออสเตรเลีย)

2.2.2 น้ำแป้ง (Soluble starch solution: Asia Pacific Specialty Chemicals Ltd., ออสเตรเลีย)

2.2.3 โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate: Asia Pacific Specialty Chemicals Ltd., ออสเตรเลีย)

2.2.4 สารละลายวิจิส (Wijs solution: Panreac Quimica sau, บาร์เซโลน่า)

2.2.5 กรดแอซติก (Acetic acid: Labscan Asia Co Ltd., ประเทศไทย)

2.2.6 ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane: Fisher scientific UK Ltd., สหราชอาณาจักร)

2.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าสปอนิฟิเคชัน

2.3.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol: Scharlau Chemie S.A., สหภาพยุโรป)

2.3.2 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid: Merck, เยอรมัน)

2.3.3 โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide: Merck, เยอรมัน)

2.3.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein: Merck, เยอรมัน)

2.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารที่สaponify ไม่ได้

2.4.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol: Scharlau Chemie S.A., สหภาพยุโรป)

2.4.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide: Merck, เยอรมัน)

2.4.3 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether: Mallinckrodt Baker, Inc., สหรัฐอเมริกา)

2.4.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein: Merck, เยอรมัน)

2.4.5 อะซิโตน (Acetone: Fisher scientific UK Ltd., สหราชอาณาจักร)

2.5 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบไขมันในไขมันเมล็ดงา

2.5.1 โมโน-, ได- และไตรกลีเซอไรด์มิกซ์ (Mono- di- and triglyceride mix: Supelco Analytical, สหรัฐอเมริกา)

2.5.2 แอล-อัลฟา-ฟอสฟาติลโคลีน (L- α -Phosphatidylcholine: Sigma-Aldrich Co., สหรัฐอเมริกา)

2.5.3 กรดสเตียริก (Stearic acid: Sigma-Aldrich Co., สหรัฐอเมริกา)

2.5.4 คลอโรฟอร์ม (Chloroform: HPLC grade, Labscan Asia Co Ltd., ประเทศไทย)

2.5.5 เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol: HPLC grade, Mallinckrodt Baker, Inc., สหรัฐอเมริกา)

2.5.6 เอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate: HPLC grade, Labscan Asia Co Ltd., ประเทศไทย)

2.5.7 ไอโซโพรพานอล (Isopropanol: HPLC grade, Labscan Asia Co Ltd., ประเทศไทย)

2.5.8 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride: Ajax Finechem pty Ltd., ออสเตรเลีย)

2.5.9 เฮกเซน (Hexane: HPLC grade, Fisher scientific UK Ltd., สหราชอาณาจักร)

2.5.10 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether: HPLC grade, Labscan Asia Co Ltd., ไอร์แลนด์)

2.5.11 กรดกลีเซอริก (Glacial acetic acid: HPLC grade, Labscan Asia Co Ltd., ไอร์แลนด์)

2.5.12 คิวปริกอะซิเตต (Cupric acetate: Ajax Finechem pty Ltd., ออสเตรเลีย)

2.5.13 กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid: Mallinckrodt Baker, Inc., สหรัฐอเมริกา)

2.5.14 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: Ajax Finechem pty Ltd., ออสเตรเลีย)

2.6 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของสเตอรอลในไขมันเมล็ดงา

2.6.1 แคมเปสเตอร์อล (Campesterol: Sigma-Aldrich Co., สหรัฐอเมริกา)

2.6.2 ไซโตสเตอร์อล (β -Sitosterol: Sigma-Aldrich Co., สหรัฐอเมริกา)

2.6.3 สติกมาสเตอร์อล (Stigmasterol: Sigma-Aldrich Co., สหรัฐอเมริกา)

2.6.4 ไดไฮโดรคอเลสเตอรอล (Dihydrocholesterol: Sigma-Aldrich Co., สหรัฐอเมริกา)

2.6.5 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide: Ajax Finechem pty Ltd., ออสเตรเลีย)

2.6.6 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol: HPLC grade, Mallinckrodt Baker, Inc., สหรัฐอเมริกา)

2.6.7 นอร์มอลเฮปเทน (n-Heptane: HPLC grade, Labscan Asia Co Ltd., ประเทศไทย)

2.6.8 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether: HPLC grade, Labscan Asia Co Ltd., ประเทศไทย)

2.6.9 ไตรเมทิลคลอโรไซเลน ใน เอ็น,โอ-บิส (ไตรเมทิลซิลิล) ไตรฟลูอออเรคตาไมด์ (1% Trimethylchlorosilane in *N,O*-bis (Trimethylsilyl) trifluoroacetamide: Supelco Analytical, สหรัฐอเมริกา)

2.6.10 ไพริดีน (Pyridine: Sigma-Aldrich Co., สหรัฐอเมริกา)

2.6.11 แก๊สไนโตรเจน (ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด, ประเทศไทย)

2.6.12 แก๊สฮีเลียม (ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด, ประเทศไทย)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมวัตถุดิบ

3.1.1 ตู้อบลมร้อน (Tray dryer: Kan Seng Lee Machinery (1960) Ltd. Part, ประเทศไทย)

3.1.2 เครื่องบดหยาบ (Blender: ไทยประดิษฐ์ เอ็นจิเนียริง จำกัด, ประเทศไทย)

- 3.1.3 เครื่องปั่นบดละเอียด (Blender: VA-M11L, Hitachi, ญี่ปุ่น)
- 3.1.4 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อนเพื่อคัดแยกขนาด (Sieve shaker: AS 200 Control, Retsch, เยอรมัน) และตะแกรงร่อน
- 3.1.5 เครื่องปั่นผสม (Mixer: IF 309, Imarflex, ประเทศไทย)
- 3.1.6 อุปกรณ์เครื่องครัว
- 3.2 อุปกรณ์สำหรับการสกัดไขมัน
- 3.2.1 ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus: Electromantle ME, Electrothermal, สหราชอาณาจักร)
- 3.2.2 กระดาษกรองเบอร์ 4 (Filter paper: Whatman International Ltd., อังกฤษ)
- 3.2.3 ทิมเบิล (Extraction thimble: Whatman International Ltd., อังกฤษ)
- 3.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี
- 3.3.1 รีแฟรกโตมิเตอร์ (Hand refractometer: Master RI, Atago, ญี่ปุ่น)
- 3.3.2 ขวดหาความถ่วงจำเพาะ (Pycnometer)
- 3.3.3 เครื่องวัดสี (Miniscan XE, Hunter Association Laboratory, Inc., สหรัฐอเมริกา)
- 3.3.4 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath: OB 14, Memmert GmbH+Co.KG., เยอรมัน)
- 3.3.5 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter: DSC1, Mettler-Teledo International Inc., สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.3.6 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer: Jeol JDX-3530, Jeol, ญี่ปุ่น)
- 3.3.7 เครื่องวิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมันและไขมัน (743 Rancimat, Methrom, สหรัฐอเมริกา)
- 3.4 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบไขมันในไขมันเมล็ดงา
- 3.4.1 แผ่นแก้วโครมาโตกราฟีชนิดผิวเคลือบ (HPTLC plate: Camag, เยอรมัน)
- 3.4.2 แทงค์ (Tank: Camag, เยอรมัน)
- 3.4.3 เครื่องเตรียมสารลงบนแผ่นโครมาโตกราฟีแบบกึ่งอัตโนมัติ (Sample application bandwise: Linomat IV, Camag, เยอรมัน)

- 3.4.4 แผ่นให้ความร้อน (Plate heater: TLC Plate Heater III, Camag, เยอรมัน)
 - 3.4.5 โถดูดความชื้น (Desicator)
 - 3.4.6 ตู้สำหรับสเปรย์สารบนแผ่นโครมาโตกราฟี (TLC spray cabinet: TLC Spray Cabinet II, Camag, เยอรมัน)
 - 3.4.7 เครื่องเดนซิโตมิเตอร์ (Densitometer: TLC Scanner 3, Camag, เยอรมัน)
 - 3.4.8 เครื่องพ่นฝอยละอองสาร (TLC sprayer: Camag, เยอรมัน)
 - 3.4.9 เข็มฉีดยา (Syringe: Linomat syringe 6950014, Camag, เยอรมัน)
- 3.5 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดงา
- 3.5.1 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas chromatography-flame ionization detector: Agilent Model 6890N (G1530N), Agilent Technologies, Inc., สหรัฐอเมริกา)
- 3.6 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบของสเตอรอลในไขมันเมล็ดงา
- 3.6.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking water bath: Sv 1422, Memmert GmbH+Co.KG., เยอรมัน)
 - 3.6.2 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas chromatography-flame ionization detector: HP model 6890, Hewlette Packard Co., สหรัฐอเมริกา)
- 3.7 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณอัลฟา-โทโคฟีรอลในไขมันเมล็ดงา
- 3.7.1 เครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography: Agilent 1100 Series, Agilent Technologies, Inc., สหรัฐอเมริกา)
- 3.8 อุปกรณ์เครื่องแก้วและเครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำเมล็ดงาซึ่งเหลือจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์งาบรรจุกระป๋องมาล้างทำความสะอาดและแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออก (ภาพผนวกที่ ก1) แล้วนำไปบดหยาบด้วยเครื่องบดหยาบ จากนั้นอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แล้วเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ -5 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

2. การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดไขมันจากเมล็ดงา

ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาด และความชื้นของเมล็ดงา ระยะเวลาในการสกัด และปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต่อร้อยละปริมาณไขมันที่สกัดได้ โดยเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง เพื่อคัดเลือกและหาระดับของปัจจัยที่จะนำไปศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันเมล็ดงาต่อไป

2.1 การศึกษาอิทธิพลของขนาดเมล็ดงาต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้

เตรียมตัวอย่างเมล็ดงาที่มีขนาดต่างๆ กัน 4 ระดับ ได้แก่ เมล็ดงาที่ค้ำงอยู่บนตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดขนาด 10, 20, 30 และ 40 mesh ซึ่งมีขนาด 2-2.36, 0.85-1, 0.6-0.71 และ 0.425-0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (AS 200 Control, Retsch) จากนั้นนำตัวอย่างเมล็ดงาที่มีขนาดต่างๆ กันไปปรับความชื้นเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในการปรับความชื้นนั้นจะคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมเข้าไปในตัวอย่างเพื่อให้มีความชื้นในระดับที่ต้องการ และฉีดพ่นน้ำเข้าไปในตัวอย่างแล้วผสมตัวอย่างให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสม (IF 309, Imarflex) จากนั้นบ่มตัวอย่างเพื่อให้ความชื้นกระจายอย่างทั่วถึงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (Sandoval and Barreiro, 2007) แล้ววัดความชื้นที่แน่นอนของตัวอย่างอีกครั้ง หลังการปรับความชื้นตัวอย่างจะมีความชื้นในช่วงมากหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างไปสกัดไขมันโดยใช้ชุดสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย (Soxhlet apparatus: Electromantle ME, Electrothermal) โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ในการสกัดแต่ละครั้งจะใช้ตัวอย่างประมาณ 20 กรัม และใช้ตัวทำละลาย 150 มิลลิลิตร โดยสกัดที่อุณหภูมิ 65-75

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณร้อยละของไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ กัน

2.2 การศึกษาอิทธิพลของความชื้นเมล็ดงาต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้

นำเมล็ดงาที่มีขนาด 0.6-0.71 มิลลิเมตร มาปรับความชื้นเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 3, 7, 11 และ 15 โดยน้ำหนัก (ตามวิธีการในข้อ 2.1) แล้วนำไปสกัดไขมันโดยใช้ชุดสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย โดยมีสถานะในการสกัดเช่นเดียวกับข้อ 2.1 จากนั้นคำนวณร้อยละของไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีความชื้นต่างๆ กัน

2.3 การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้

นำเมล็ดงาที่มีขนาด 0.6-0.71 มิลลิเมตร มาปรับความชื้นเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (ตามวิธีการในข้อ 2.1) แล้วนำไปสกัดไขมันโดยใช้ชุดสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย เป็นระยะเวลา 4, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง โดยมีสถานะในการสกัดอื่นๆ เช่นเดียวกับข้อ 2.1 จากนั้นคำนวณร้อยละของไขมันที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน

2.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวทำละลายในการสกัดต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้

นำเมล็ดงาที่มีขนาด 0.6-0.71 มิลลิเมตร มาปรับความชื้นเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (ตามวิธีการในข้อ 2.1) แล้วนำไปสกัดไขมันโดยใช้ชุดสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ตัวทำละลายปริมาตร 100, 150, 200 และ 250 มิลลิลิตร ในการสกัดไขมันจากตัวอย่าง 20 กรัม (อัตราส่วนตัวอย่าง: ตัวทำละลายเท่ากับ 1:5, 1:7.5, 1:10 และ 1:12.5 ตามลำดับ) โดยมีสถานะในการสกัดอื่นๆ เช่นเดียวกับข้อ 2.1 จากนั้นคำนวณร้อยละของไขมันที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายปริมาตรต่างๆ กัน

2.5 แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดไขมันจากเมล็ดงา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละ

ละทิ้งทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 12.0 ในการทดลองมีการทำซ้ำจำนวน 2 ซ้ำ

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันจากเมล็ดเงาะ

3.1 แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลองที่ 2 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดจากเมล็ดเงาะ ได้แก่ ความชื้นของวัตถุดิบ ระยะเวลาในการสกัด และขนาดของวัตถุดิบ เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ที่ระดับต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดเงาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกปัจจัยทั้งสามนี้ไปศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันโดยใช้เทคนิคพื้นผิวตอบสนอง ในการพิจารณาช่วงของปัจจัยที่นำมาศึกษา พิจารณาจากช่วงของปัจจัยที่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร่วมกับความเป็นไปได้ในการทดลอง โดยศึกษาช่วงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ความชื้นของเมล็ดเงาะ (X_1) 5-15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวอย่าง ระยะเวลาในการสกัด (X_2) 4-9 ชั่วโมง และ ขนาดของเมล็ดเงาะ (X_3) 0.5-1.7 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ร่วมกัน จึงมีการวางแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD) โดยกำหนดระดับของตัวแปรอิสระ (independent variables) ออกเป็น 5 ระดับ ซึ่งมีรหัสของระดับ (level code) ได้แก่ $-\alpha$, -1 , 0 , 1 และ $+\alpha$ เมื่อ -1 , 0 , 1 คือระดับต่ำ กลาง และสูงของปัจจัย ตามลำดับ ส่วน $-\alpha$ และ $+\alpha$ คือ ระดับที่ต่ำกว่าขอบเขตล่าง และสูงกว่าขอบเขตบนของช่วงที่ทำการศึกษา โดย α จะมีค่าเท่ากับ $2^{k/4}$ เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัยที่ศึกษา ดังนั้น ในกรณีที่ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย ค่า $-\alpha$ และ $+\alpha$ จึงเท่ากับ -1.682 และ 1.682 ตามลำดับ จากการวางแผนการทดลองดังกล่าวจะได้หน่วยทดลองดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แผนการทดลองแบบ Central composite design ที่ใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมัน

No.	Moisture (%w/w)	Extraction time (h)	Particle size (mm)
1	0 (10)	1.682 (10.705)	0 (1.1)
2	-1 (5)	-1 (4)	-1 (0.5)
3	0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)
4	0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)
5	1 (15)	1 (9)	1 (1.7)
6	0 (10)	0 (6.5)	1.682 (2.1092)
7	0 (10)	0 (6.5)	-1.682 (0.0908)
8	-1 (5)	1 (9)	1 (1.7)
9	0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)
10	1 (15)	-1 (4)	-1 (0.5)
11	0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)
12	-1 (5)	1 (9)	-1 (0.5)
13	1.682 (18.41)	0 (6.5)	0 (1.1)
14	0 (10)	-1.682 (2.295)	0 (1.1)
15	1 (15)	1 (9)	-1 (0.5)
16	0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)
17	-1.682 (1.59)	0 (6.5)	0 (1.1)
18	0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)
19	-1 (5)	-1 (4)	1 (1.7)
20	1 (15)	-1 (4)	1 (1.7)

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางคือ รหัสของระดับ หรือ coded levels และ () คือ ค่าจริง หรือ uncoded levels ตามลำดับ

จากตารางที่ 6 พบว่าในการทดลองประกอบด้วยสิ่งทดลองทั้งหมด 15 สิ่งทดลอง ซึ่งประกอบด้วยหน่วยทดลองที่เป็น factorial point, star point และ center point จำนวน 8, 6 และ 1 หน่วยทดลอง ตามลำดับ โดยตามแผนการทดลองมีการทำซ้ำหน่วยทดลองที่เป็น center point (0, 0, 0) 6 ซ้ำ ทำให้มีหน่วยทดลองทั้งหมด 20 หน่วย จากนั้นสกัดน้ำมันตามสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 6 และวิเคราะห์ร้อยละไขมันที่สกัดได้จากแต่ละหน่วยทดลอง แผนการทดลองนี้ใช้กับทั้งการสกัดโดยใช้เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ ในการทดลองมีการทำซ้ำจำนวน 2 ซ้ำ

เมื่อได้ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดแล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์การถดถอย (Regression) เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลโดยสมการที่ใช้เป็นสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง (Second degree polynomial equation) ซึ่งมีแบบจำลองดังนี้ คือ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม
 $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, \dots$ คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร และ
 X_1, X_2, X_3 คือ ค่าของความชื้น ระยะเวลาในการสกัด และขนาดเมล็ดงา ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อแสดงให้เห็นว่าสมการแสดงความสัมพันธ์ที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการอธิบายข้อมูลชุดนี้หรือไม่และยังแสดงถึงผลของพจน์ (Term) ต่างๆ ทั้งแบบเส้นตรง (Linear) กำลังสอง (Quadratic) และอันตรกิริยา (Interaction) ว่ามีพจน์ใดบ้างที่แสดงอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ในทางสถิติ จากนั้นสร้างพื้นผิวตอบสนอง (Surface plot) เพื่อใช้ในการอธิบายอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ร่วมกับสมการ และหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะใช้โปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 15

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

สำหรับการเตรียมตัวอย่างเมล็ดงาที่ใช้ในการทดลองนั้นทำโดยนำเมล็ดงาที่อบเพื่อลดความชื้นในข้างต้นแล้วมาคัดแยกขนาดโดยใช้เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (AS 200 Control, Retsch) และเก็บตัวอย่างตามขนาดที่ต้องการ ได้แก่ 2.1092, 1.7, 1.1, 0.5 และ 0.0908 มิลลิเมตร โดยเมล็ดงาที่มีขนาดต่างๆ ดังกล่าวเป็นขนาดเมล็ดงาที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดขนาด 10, 12, 18, 35 และ 170 mesh ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดในช่วง 2-2.36, 1.7-2, 1-1.18, 0.5-0.6 และ 0.09-

0.106 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำเมล็ดงาที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ กันมาหาความชื้นเริ่มต้นและปรับความชื้นของเมล็ดให้ได้ตามที่ต้องการ ได้แก่ ร้อยละ 18.41, 15, 10, 5 และ 1.59 โดยน้ำหนัก โดยในการปรับความชื้นนั้นทำโดยคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมเข้าไปในตัวอย่างเพื่อให้มีความชื้นในระดับที่ต้องการ และทำการฉีดพ่นน้ำเข้าไปในตัวอย่างแล้วผสมตัวอย่างให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสม (IF 309, Imarflex) จากนั้นบ่มตัวอย่างเพื่อให้ความชื้นกระจายตัวอย่างทั่วถึงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (Sandoval and Barreiro, 2007) แล้ววัดความชื้นที่แน่นอนของตัวอย่างอีกครั้ง หลังการปรับความชื้นตัวอย่างจะมีความชื้นในช่วงมากหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ส่วนตัวอย่างที่มีความชื้นร้อยละ 1.59 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยนำตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 1 มาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างมีความชื้นประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แล้วปรับความชื้นดังวิธีการในข้างต้น

3.3 การสกัดไขมัน

ในการสกัดไขมันสกัดโดยใช้ชุดสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย ซึ่งในการสกัดแต่ละครั้งใช้ตัวอย่างประมาณ 20 กรัม และใช้ตัวทำละลาย 150 มิลลิลิตร โดยสกัดที่อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ จากนั้นคำนวณร้อยละของไขมันที่สกัดได้โดยเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง แล้วนำไปหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

4. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันจากเมล็ดงา

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันจากการศึกษาในข้างต้นแล้ว ทำการสกัดไขมันตามสภาวะดังกล่าว และนำตัวอย่างไขมันที่ได้มาศึกษาคุณสมบัติ ดังนี้

4.1 ค่าไอโอดีน (Iodine value) วิเคราะห์ค่าไอโอดีนของไขมันเมล็ดงา ตามวิธีการของ AOCS (1997)

4.2 ค่าสปอนิฟิเคชัน (Saponification value) วิเคราะห์ค่าสปอนิฟิเคชันของไขมันเมล็ดงา ตามวิธีการของ AOCS (1997)

4.3 ปริมาณสารที่สaponify ไม่ได้ (Unsaponifiable matter) วิเคราะห์ปริมาณสารที่สaponify ไม่ได้ของไขมันเมล็ดเงาะ ตามวิธีการของ AOCS (1997)

4.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) วิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันเมล็ดเงาะ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

4.5 การหักเหแสง (Refractive index) วิเคราะห์ค่าการหักเหของแสงของไขมันเมล็ดเงาะ ตามวิธีการของ AOCS (1997)

4.6 สี (Color) วิเคราะห์สีของไขมันเมล็ดเงาะ โดยเครื่องวัดสี (Miniscan XE, Hunter Association Laboratory, Inc.) ดัดแปลงจากวิธีการของ Rouhou *et al.* (2007) โดยนำตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะที่อุณหภูมิห้อง และตัวอย่างที่ทำการละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสไปวัดค่าสี โดยตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสง (Illuminant source) และมุมที่ทำการวัดตัวอย่าง (Observation angle) เป็น D65 และ 2 องศา ตามลำดับ แล้วรายงานค่าสีในระบบ CIELAB โดยรายงานค่าเป็นค่า L^* a^* b^* โดยค่า L^* บอกถึงความสว่างของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 0 (มืด) ถึง 100 (สว่าง) ค่า a^* บอกถึงค่าสีเขียวและแดง โดย a^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว ถ้า a^* มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีแดง ค่า b^* บอกถึงค่าสีน้ำเงินและเหลือง โดย b^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน ถ้า b^* มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง

4.7 จุดหลอมเหลว (Melting point) และจุดเกิดผลึก (Crystallization point) วิเคราะห์จุดหลอมเหลวและจุดเกิดผลึกของไขมันเมล็ดเงาะเปรียบเทียบกับเนยโกโก้โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC1, Mettler-Teledo International Inc.) ดัดแปลงจากวิธีการของ Saloua *et al.* (2009) และ Besbe *et al.* (2004) โดยชั่งไขมันปริมาณ 4-5 มิลลิกรัม ลงในถาดอลูมิเนียมสำหรับบรรจุตัวอย่าง (ME 000273331, Mettler-Teledo International Inc.) จากนั้นนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความร้อนโดยการลดอุณหภูมิของตัวอย่างเป็น -50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที แล้วให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง (Heating) ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 1 นาทีแล้วทำการลดอุณหภูมิ (Cooling) แก่ตัวอย่างด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เครื่องจะทำการบันทึกสัญญาณซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่างเปรียบเทียบกับถาดอลูมิเนียมเปล่า (Reference pan) จากนั้นพิจารณาจุดหลอมเหลวและจุดเกิดผลึกของตัวอย่างได้จากกราฟของการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง

4.8 โครงสร้างผลึกของไขมัน (Crystal polymorphism) วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของไขมันเมล็ดงาโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (Jeol JDX-3530, Jeol) คัดแปลงจากวิธีการของ Reshma *et al.* (2008) และ Czerniak *et al.* (2005) โดยกำหนดสภาวะการทดลอง คือ แหล่งกำเนิดรังสีเป็นทองแดง (Cu) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 30 มิลลิแอมแปร์ เริ่มสแกนที่มุมหักเหช่วง 10 ถึง 28 องศา 2θ ด้วยอัตราเร็ว 0.02 องศาต่อวินาที เครื่องจะทำการบันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จากนั้นจะใช้โปรแกรมในการกำหนดตำแหน่งพีก (Mark peak) ที่ต้องการทราบข้อมูลเพื่อแสดงความเข้มของพีก (Peak intensities) แล้วนำไปคำนวณดังนี้ คือ

$$\% \beta = \frac{I_{\beta} \times 100}{I_{\beta} + I_{\beta'}} ; \quad \% \beta' = \frac{I_{\beta'} \times 100}{I_{\beta} + I_{\beta'}}$$

เมื่อ I_{β} และ $I_{\beta'}$ คือ ความเข้มของพีกของโครงสร้างผลึกในฟอร์ม β และ β' ตามลำดับ โดยพีกที่ 4.6°A คือพีกที่แสดงถึงโครงสร้างผลึกในฟอร์ม β และพีกที่ 3.8 และ 4.2°A คือพีกที่แสดงถึงโครงสร้างผลึกในฟอร์ม β'

5. การศึกษาองค์ประกอบของไขมันจากเมล็ดงา

วิเคราะห์องค์ประกอบของไขมันเมล็ดงาโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีชนิดแผ่นบางประสิทธิภาพสูง (High performance thin layer chromatography) คัดแปลงจากวิธีการของ Olsen and Henderson (1989) และ Bravoda *et al.* (1990) โดยหยดสารมาตรฐานผสมกลีเซอไรด์มีกซ์ (โมโน-, ได- และ ไตรกลีเซอไรด์ = 1:2:1) : แอล-อัลฟา-ฟอสฟาติดีลคอลลีน: กรดสเตียริก ปริมาณ 1, 3, 5, 10, 15, 20 และ 30 ไมโครลิตร โดยสารมาตรฐานทุกตัวมีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และหยดตัวอย่างไขมันเมล็ดงาซึ่งมีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 4 ไมโครลิตร ลงบนเพลทด้วยเครื่องหยดสาร (Linomat IV, Camag) หลังจากนั้นเป่าให้แห้งด้วยลมร้อนแล้วนำไปจุ่มในเฟสเคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วย คลอโรฟอร์ม: เมซิลแอลกอฮอล์: ไอโซโพรพานอล: 0.25% โปแทสเซียมคลอไรด์: เอทิลอะซิเตต (15: 4.5: 12.5: 3: 9) ทิ้งให้เฟสเคลื่อนที่เคลื่อนไปเป็นระยะทาง 4.5 เซนติเมตรจากจุดเริ่มต้น จากนั้นนำเพลทขึ้นมาเป่าให้แห้งด้วยลมร้อน นำไปใส่ในโถดูดความชื้นซึ่งบรรจุโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ภายในเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำเพลทไปจุ่มในเฟสเคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วย เฮกเซน: ไดเอทิลอีเทอร์: กรดกลูเซอซิลิก (40: 10: 1) ทิ้งให้เฟสเคลื่อนที่เคลื่อนไปเป็นระยะทาง 9 เซนติเมตรจากจุดเริ่มต้น จากนั้นนำเพลทขึ้นมาเป่าให้แห้งด้วยลมร้อนแล้วนำไปสเปรย์ด้วย 3% คิวปริกอะซิเตตใน 8% กรดฟอสฟอริก แล้วให้ความร้อนแก่เพลทที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้เกิดแถบสีที่ชัดเจนขึ้น จากนั้นนำเพลทไป

วิเคราะห์ผลด้วยการสแกนความหนาแน่นของสารที่แยกได้ (density) ที่ความยาวคลื่น 546 นาโนเมตร ประมวลผลที่ได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CATS 4

เปรียบเทียบระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่กับสารมาตรฐานภายใต้การวิเคราะห์ในสภาวะเดียวกัน เพื่อบ่งชี้ชนิดของไขมัน แล้วหาพื้นที่ใต้กราฟของสารตัวอย่างด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CATS 4 คำนวณหาปริมาณไขมันแต่ละชนิดที่พบในตัวอย่าง โดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก ก) รายงานผลเป็นปริมาณสารที่พบในหน่วยกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม

6. การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันของไขมันจากเมล็ดเงาะ

นำตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะมาวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของกรดไขมันเปรียบเทียบกับเนยโกโก้ โดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟี-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Agilent Model 6890N (G1530N), Agilent Technologies, Inc.) และใช้แคปิลารีคอลัมน์ (Supelco SP-2560) ในการแยกองค์ประกอบของกรดไขมัน สภาวะของเครื่องที่ใช้ ได้แก่ อุณหภูมิของส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (injection port) และเครื่องตรวจวัด (detector) 250 องศาเซลเซียส และตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของตู้อบที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วเพิ่มเป็น 250 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียส ต่อนาที และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 17 นาที (วิเคราะห์โดย บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด)

7. การศึกษาองค์ประกอบของสเตอรอลในไขมันเมล็ดเงาะ

นำตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะมาวิเคราะห์องค์ประกอบของสเตอรอล ตามวิธีการของ Schwartz *et al.* (2008) โดยมีขั้นตอนดังนี้ ทำการสกัดสารประกอบสเตอรอลโดยชั่งตัวอย่างไขมันประมาณ 0.2-0.4 กรัม เติมสารมาตรฐาน (dihydrocholesterol) 400 ไมโครกรัม จากนั้นเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 8 มิลลิลิตร แล้วทำการย่อยด้วยด่างโดยการเติมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเขย่าในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำ 12 มิลลิลิตร และนอร์มอลเฮปแทน : ไดเอทิลอีเทอร์ (1:1 โดยปริมาตร) 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กเป็นเวลา 10 นาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีเพื่อให้เกิดการแยกชั้น ดูดชั้นสารละลายอินทรีย์ใส่ลงในขวดสีชา 10 มิลลิลิตร ทำให้แห้งโดยการเป่าสารสกัดด้วยแก๊สไนโตรเจนจนตัวทำละลายระเหยหมด จากนั้นจะทำการเตรียมอนุพันธ์ของสเตอรอลโดยนำสารสกัดซึ่งระเหยตัวทำละลายหมดแล้วมาเติม 1% TMCS in BSTFA 200 ไมโครลิตร และไพรีดีน

200 ไมโครลิตร แล้วทิ้งสารสกัดไว้ข้ามคืนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเตรียมอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ จากนั้นทำการเป่าสารสกัดให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยสารที่ใช้ในการเตรียมอนุพันธ์ แล้วนำอนุพันธ์ของสเตอรอลที่เตรียมได้ไปละลายด้วยนอร์มอลเฮกเซน 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันนำไปวิเคราะห์โดยแก๊สโครมาโตกราฟีต่อไป

ในการวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (HP model 6890, Hewlette Packard Co.) ซึ่งต่อกับเฟลมไอออนเซชันดีเทคเตอร์ มีสถานะในการวิเคราะห์ดังนี้ คือ ใช้การฉีดแบบ splitless โดยใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพามีอัตราการไหล 3 มิลลิลิตรต่อนาที แยกสารประกอบสเตอรอลโดยใช้แคปิลลารีคอลัมน์ (HP 19091J-413) ขนาด 30 เมตร x 320 ไมโครเมตร x 0.25 ไมโครเมตร อุณหภูมิของส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (injection port) และเครื่องตรวจวัด 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ใช้ในการแยกสารเริ่มที่ 245 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 1 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 20 นาที

การบ่งชี้ชนิดของสเตอรอลทำโดยการเปรียบเทียบค่า retention time จากสารมาตรฐานที่ได้จากการนำสารละลายมาตรฐานมาทำการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะเดียวกัน หาพื้นที่ใต้พีคของสารแล้วคำนวณหาปริมาณสเตอรอลแต่ละชนิด โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสเตอรอลแต่ละชนิดกับพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐาน (dihydrocholesterol) ที่ทราบปริมาณแน่นอน และคำนวณปริมาณสเตอรอลโดยการแทนพื้นที่ใต้กราฟลงในสมการจากกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก ค) รายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารนั้นๆ ในตัวอย่างต่อน้ำหนักไขมัน (มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม)

8. วิตามินอี (α -tocopherol)

นำตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะมาวิเคราะห์ปริมาณของวิตามินอีในรูป α -tocopherol โดยใช้เครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูงที่เชื่อมต่อกับ diode array detector (Agilent 1100 Series, Agilent Technologies, Inc.) และใช้ Reversed-phase Column (Hypersil ODS) ในการแยกสารประกอบ α -tocopherol สภาวะของการทดลอง ได้แก่ เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) คือ เมทิลแอลกอฮอล์ : น้ำ (98:2 v/v) อัตราการไหล (Flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวอย่างที่ฉีด (Injection volume) 20 ไมโครลิตร ทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เครื่องทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร (วิเคราะห์โดย บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด)

9. ความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidative stability)

วิเคราะห์ความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมล็ดเงาะ ตามวิธีการของ Besbe *et al.* (2005) โดยนำตัวอย่างไขมัน 2.5 กรัม มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอากาศบริสุทธิ์ 15 ลิตรต่อชั่วโมงโดยเครื่องวิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมันและไขมัน (743 Rancimat, Methrom) เครื่องจะอาศัยหลักการที่กรดไขมันถูกออกซิไดส์ผ่านลงในน้ำปราศจากไอออน แล้ววัดค่าการนำไฟฟ้า และมาคำนวณเพื่อวิเคราะห์ค่าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะแสดงออกมาในรูปของระยะเวลาในการชักนำให้เกิดออกซิเดชัน (Oxidation induction time) ซึ่งหมายถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้กราฟการนำไฟฟ้า (ภาคผนวก ค) เกิดการหักเหไปจากเดิม (Inflection point) (Halbault *et al.*, 1997)

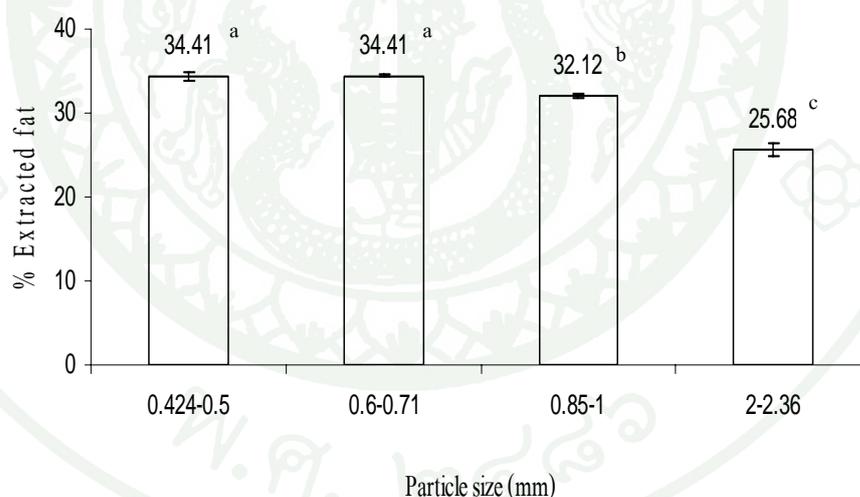
ผลและวิจารณ์

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดไขมัน

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาดและความชื้นของวัตถุดิบ ระยะเวลาในการสกัด และปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดเงาะ เพื่อคัดเลือกและหาช่วงของปัจจัยที่จะนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมัน ได้ผลดังนี้

1.1 ขนาดของวัตถุดิบ

ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดเงาะที่มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 0.425-0.5, 0.6-0.71, 0.85-1 และ 2-2.36 มิลลิเมตร ซึ่งค้างอยู่บนตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดขนาด 40, 30, 20 และ 10 mesh ตามลำดับ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดเงาะที่มีขนาดต่างๆ กัน

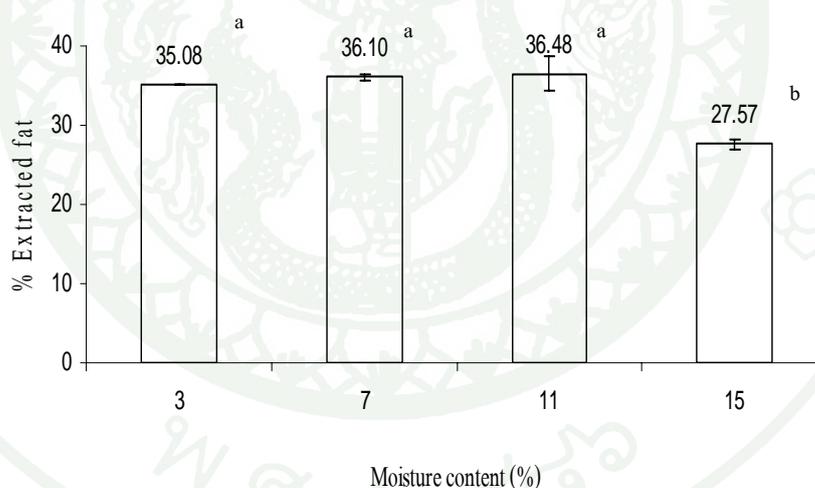
หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเมล็ดเงาะที่มีขนาด 0.425-0.5, 0.6-0.71, 0.85-1 และ 2-2.36 มิลลิเมตร มีปริมาณไขมันที่สกัดได้ เท่ากับ 34.41 ± 0.59 , 34.41 ± 0.13 , 32.12 ± 0.30 และ

25.68 ± 0.73 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีขนาด 0.424-0.5 และ 0.6-0.71 มิลลิเมตร มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเมล็ดงามีขนาดที่ใหญ่ขึ้นได้แก่ 0.85-1 และ 2-2.36 มิลลิเมตร พบว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้มีค่าลดลงซึ่งแตกต่างจากที่ระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากเมื่อขนาดอนุภาคของวัตถุดิบเล็กลงส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าสู่วัตถุดิบได้ดียิ่งขึ้น (Mani *et al.*, 2007) แต่อย่างไรก็ตามถ้าวัตถุดิบมีขนาดอนุภาคที่เล็กเกินไป ตัวอย่างอาจอัดกันแน่นส่งผลให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าสู่วัตถุดิบได้ยากขึ้น (นิธิยา, 2548) และมีประสิทธิภาพในการสกัดลดลง

1.2 ความชื้นของวัตถุดิบ

ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีความชื้นต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 3, 7, 11 และ 15 โดยน้ำหนัก ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีความชื้นต่างๆ กัน

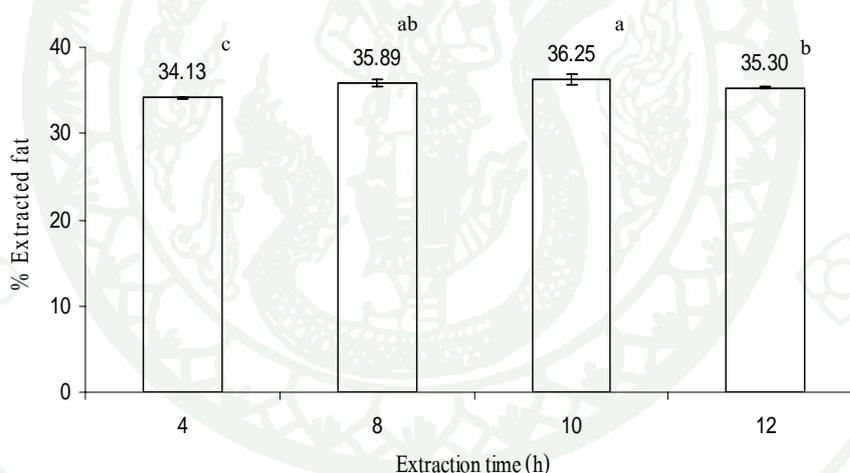
หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าเมล็ดงาที่มีความชื้นร้อยละ 3, 7, 11 และ 15 โดยน้ำหนัก มีปริมาณไขมันที่สกัดได้ เท่ากับ 35.08 ± 0.03, 36.10 ± 0.37, 36.48 ± 2.18 และ 27.57 ± 0.61 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าปริมาณ

ไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่มีความชื้นร้อยละ 3, 7 และ 11 โดยน้ำหนัก มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเมล็ดงามีความชื้นเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้มีค่าลดลงซึ่งแตกต่างจากที่ระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนถึงความชื้นที่ระดับหนึ่งเมื่อตัวอย่างมีความชื้นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำที่มีในตัวอย่างรบกวนการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าสู่ตัวอย่าง ส่งผลให้การทำงานของตัวทำละลายมีประสิทธิภาพลดลง (Shahidi and Wanasundara, 2002)

1.3 ระยะเวลาในการสกัด

ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่ระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ 4, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่ระยะเวลาต่างๆ กัน

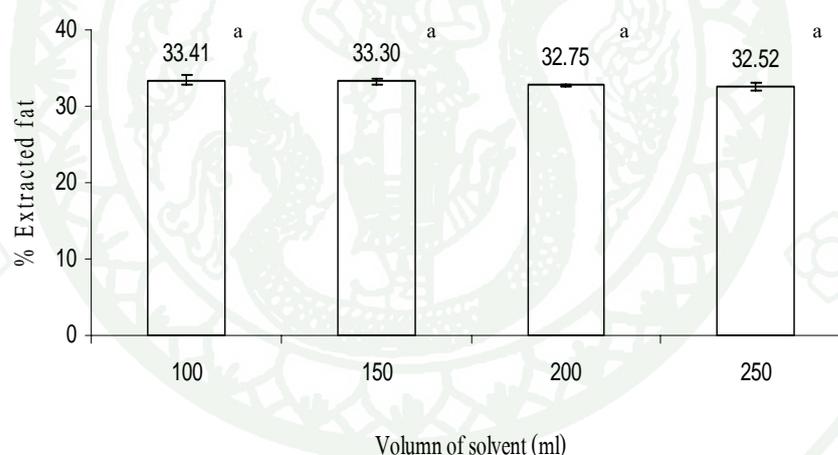
หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากภาพที่ 10 แสดงให้เห็นว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาที่ระยะเวลาในการสกัด 4, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง มีค่า 34.13 ± 0.11 , 35.89 ± 0.38 , 36.25 ± 0.63 และ 35.30 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าเมื่อสกัดไขมันเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณไขมันที่สกัดได้มีค่าต่ำสุด ซึ่งแตกต่างจากที่ระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดให้นานขึ้น เป็น 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ไขมัน

ที่สกัดได้มีปริมาณมากขึ้น โดยปริมาณไขมันที่สกัดได้จากการสกัดไขมันเป็นระยะเวลา 8 และ 10 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับการสกัดไขมันเป็นระยะเวลา 8 และ 12 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสกัดไขมันเป็นระยะเวลาสั้นๆ อาจยังไม่เพียงพอที่ไขมันจะถูกสกัดออกมาได้ทั้งหมด และเมื่อสกัดเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่ได้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไขมันที่เหลืออยู่ในตัวอย่างถูกสกัดออกมาได้ในปริมาณมากขึ้น จนระยะเวลาหนึ่งไขมันส่วนใหญ่ถูกสกัดออกมาจนใกล้หมด และมีอัตราการสกัดลดลงเรื่อยๆ จนคงที่ในที่สุด (Christensen, 1983)

1.4 ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาโดยใช้ปริมาณตัวทำละลายต่างๆ กัน ได้แก่ 100, 150, 200 และ 250 มิลลิลิตร ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาโดยใช้ปริมาณตัวทำละลายต่างกัน

หมายเหตุ ตัวอักษร a ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างในทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพที่ 11 แสดงให้เห็นว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงาโดยใช้ตัวทำละลาย 100, 150, 200 และ 250 มิลลิลิตร ต่อเมล็ดงา 20 กรัม (อัตราส่วนเมล็ดงา : ตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5, 1:7.5, 1:10 และ 1:12.5 ตามลำดับ) มีค่า 33.41 ± 0.68 , 33.30 ± 0.39 , 32.75 ± 0.08 และ 32.52 ± 0.46 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า

ปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลาย 100, 150, 200 และ 250 มิลลิลิตร มีค่าไม่แตกต่างกัน ในทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าปริมาตรตัวทำละลายหรืออัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อ วัตถุดิบไม่ได้ส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาตรตัวทำละลาย เพียง 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วนเมล็ดงา : ตัวทำละลายเท่ากับ 1:5) เพียงพอต่อการสกัดไขมันแล้ว เมื่อใช้ในปริมาตรที่มากขึ้นจึงไม่มีผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้มากขึ้น และยังเป็นภาระสิ้นเปลือง ค่าใช้จ่ายอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากการทำการทดลอง พบว่าการใช้ตัวทำละลายเพียง 100 มิลลิลิตร มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดการไหม้หรือการระเบิดได้ง่าย เนื่องจากเมื่อตัวทำละลายระเหย ไปอยู่ในหลอดสกัดส่งผลให้ตัวทำละลายที่เหลือในขวดก้นกลมซึ่งบรรจุตัวทำละลายมีปริมาตรที่ น้อย จึงควรมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้จาก เมล็ดงา โดยใช้ชุดสกัดไขมัน ได้แก่ ขนาดของวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบ และระยะเวลาในการ สกัด เนื่องจากระดับที่แตกต่างกันของ 3 ปัจจัยนี้ส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดงา มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกปัจจัยทั้ง 3 นี้ไปศึกษาเพื่อหา สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันโดยใช้เทคนิคพื้นผิวตอบสนองต่อไป ในการพิจารณาช่วงของ ปัจจัยที่จะนำมาศึกษาพิจารณาจากช่วงของปัจจัยที่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร่วมกับความ เป็นไปได้ในการทดลอง โดยทำการศึกษาช่วงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ คือ ขนาดของเมล็ดงา 0.5-1.7 มิลลิเมตรซึ่งค้างอยู่บนตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดขนาด 12-35 mesh ความชื้นของเมล็ดงาร้อยละ 5-15 โดยน้ำหนัก และระยะเวลาในการสกัด 4-9 ชั่วโมง

2. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมัน

ปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์ที่สภาวะในการสกัดต่างๆ แสดงในตารางที่ 7 จากตารางแสดงให้เห็นว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซนอยู่ในช่วง 18.86-35.74 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.19 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้ ปิโตรเลียมอีเทอร์อยู่ในช่วง 19.59-38.29 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.45 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณ ไขมันที่สกัดได้จะมีความแตกต่างกันตามสภาวะที่ใช้ในการสกัด แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณ ไขมันที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์ที่สภาวะในการสกัดเดียวกันส่วนใหญ่มีค่าไม่ แตกต่างกัน ในทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นในการสกัดไขมันโดยใช้เมล็ดงาขนาด 0.5 มิลลิเมตรที่มี ความชื้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และทำการสกัดนาน 4 ชั่วโมง พบว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้ เฮกเซนมีปริมาณสูงกว่าปิโตรเลียมอีเทอร์อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม

ปริมาณไขมันเฉลี่ยที่สกัดได้มีค่าอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างจากที่มีรายงานไว้มากนัก คือ 34-40 เปอร์เซ็นต์ (Augustin and Chua ,1988; Jamieson ,1943)

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลของแหล่งความแปรปรวนต่างๆ ได้แก่ ความแปรปรวนจากสมการถดถอย (Regression) ทั้งในพจน์ของเส้นตรง (Linear) กำลังสอง (Square) และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร (Interaction) และความแปรปรวนจากความเหมาะสมของสมการในการอธิบายชุดข้อมูลหรือความเพียงพอของข้อมูล (Lack of fit) ต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ (ตารางที่ 8) เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็น (p-value) ของสมการถดถอย พบว่าค่าความน่าจะเป็นมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในสมการถดถอยมีพจน์อย่างน้อย 1 พจน์ที่มีผลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการทดสอบสมมติฐานได้ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่า “สัมประสิทธิ์ทุกตัวในสมการมีค่าเท่ากับศูนย์” ซึ่งหมายความว่าไม่มีพจน์ใดเลยในสมการที่มีผลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ และเมื่อพิจารณาแยกย่อยในส่วนพจน์ของเส้นตรง กำลังสอง และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร พบว่าค่าความน่าจะเป็นมีค่าน้อยกว่า 0.05 เช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในพจน์ของเส้นตรง กำลังสอง และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร มีพจน์อย่างน้อย 1 พจน์ที่มีผลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งในการสกัดโดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์

จากตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ และค่าความน่าจะเป็นของพจน์ต่างๆในสมการซึ่งได้จากการวิเคราะห์การถดถอย เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างสมการถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับค่าปริมาณไขมันได้สมการดังนี้ คือ

$$Y_{he} = 24.49 + 1.34X_1 + 1.25X_2 + 6.87X_3 - 0.08X_1^2 - 0.11X_2^2 - 4.61X_3^2 + 0.02X_1X_2 - 0.61X_1X_3 + 0.61X_2X_3 \quad (R^2=0.97) \quad (1)$$

$$Y_{pe} = 15.42 + 2.50X_1 + 1.99X_2 + 7.02X_3 - 0.10X_1^2 - 0.095X_2^2 - 3.22X_3^2 - 0.07X_1X_2 - 0.74X_1X_3 + 0.59X_2X_3 \quad (R^2=0.98) \quad (2)$$

เมื่อ Y_{he} คือ ปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซน
 Y_{pe} คือ ปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ และ
 X_1, X_2, X_3 คือ ความชื้นของเมล็ดเงาะ เวลาที่ใช้ในการสกัด และขนาดของเมล็ดเงาะ ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ปริมาณไขมันที่สกัดได้ที่สภาวะในการสกัดต่างๆ

Independent variables			% Extracted fat (dry basis)	
Moisture; X ₁	Time; X ₂	Particle size; X ₃	Hexane	Petroleum ether
0 (10)	1.682 (10.705)	0 (1.1)	35.53 ± 0.47 ^{aA}	35.20 ± 0.69 ^{aBC}
-1 (5)	-1 (4)	-1 (0.5)	35.74 ± 0.38 ^{aA}	33.01 ± 0.13 ^{bCD}
0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)	34.89 ± 0.40 ^{aA}	35.21 ± 0.004 ^{aBC}
0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)	33.57 ± 0.24 ^{aAB}	34.37 ± 0.51 ^{aBC}
1 (15)	1 (9)	1 (1.7)	23.13 ± 1.48 ^{aD}	23.08 ± 1.40 ^{aG}
0 (10)	0 (6.5)	1.682 (2.1092)	23.58 ± 0.63 ^{aD}	27.82 ± 1.33 ^{aF}
0 (10)	0 (6.5)	-1.682 (0.0908)	34.52 ± 0.55 ^{aAB}	34.08 ± 0.28 ^{aBC}
-1 (5)	1 (9)	1 (1.7)	35.40 ± 0.84 ^{aA}	38.29 ± 1.22 ^{aA}
0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)	33.63 ± 0.66 ^{aAB}	34.32 ± 1.06 ^{aBC}
1 (15)	-1 (4)	-1 (0.5)	29.83 ± 0.73 ^{aC}	30.03 ± 1.37 ^{aE}
0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)	34.75 ± 0.09 ^{aA}	34.34 ± 0.93 ^{aBC}
-1 (5)	1 (9)	-1 (0.5)	35.39 ± 0.62 ^{aA}	36.25 ± 0.85 ^{aAB}
1.682 (18.41)	0 (6.5)	0 (1.1)	20.63 ± 1.11 ^{aE}	19.84 ± 1.18 ^{aH}
0 (10)	-1.682 (2.295)	0 (1.1)	28.17 ± 1.49 ^{aC}	29.88 ± 1.16 ^{aEF}
1 (15)	1 (9)	-1 (0.5)	32.46 ± 1.34 ^{aB}	31.36 ± 1.10 ^{aDE}
0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)	33.88 ± 0.68 ^{aAB}	33.89 ± 0.16 ^{aBC}
-1.682 (1.59)	0 (6.5)	0 (1.1)	35.34 ± 1.10 ^{aA}	33.86 ± 1.70 ^{aBC}
0 (10)	0 (6.5)	0 (1.1)	34.48 ± 1.09 ^{aAB}	34.55 ± 1.27 ^{aBC}
-1 (5)	-1 (4)	1 (1.7)	30.07 ± 0.61 ^{aC}	30.11 ± 0.57 ^{aE}
1 (15)	-1 (4)	1 (1.7)	18.86 ± 1.63 ^{aE}	19.59 ± 0.65 ^{aH}

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางคือ รหัสของระดับ หรือ coded levels และ () คือ ค่าจริง หรือ uncoded levels ตามลำดับ
ตัวอักษร a-b ที่ต่างกันในแนวนอน และ A-H ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าความน่าจะเป็น (p-value) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลจากการสกัดไขมันโดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์

Source of variances	Probability (p-value)	
	Hexane	Petroleum ether
Regression	0.000	0.000
Linear	0.003	0.000
Square	0.000	0.000
Interaction	0.001	0.000
Lack-of-Fit	0.099	0.103

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) และค่าความน่าจะเป็น (p-value) ของพจน์ (Term) ต่างๆ ในสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง

Terms	Hexane		Petroleum ether	
	Coefficients	Probability	Coefficients	Probability
Constant	24.4900	0.000	15.4217	0.000
X_1	1.3406	0.001	2.4984	0.000
X_2	1.2464	0.061	1.9912	0.001
X_3	6.8671	0.011	7.0174	0.002
X_1^2	-0.0815	0.000	-0.1044	0.000
X_2^2	-0.1075	0.015	-0.0956	0.005
X_3^2	-4.6139	0.000	-3.2240	0.000
X_1X_2	0.0192	0.454	-0.0661	0.005
X_1X_3	-0.6095	0.000	-0.7442	0.000
X_2X_3	0.6100	0.014	0.5916	0.003

หมายเหตุ X_1, X_2, X_3 คือ ความชื้นของเมล็ดเงาะ ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด และขนาดของเมล็ดเงาะ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์การถดถอยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.97 และ 0.98 สำหรับการสกัดโดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสมการทั้งสองนี้สามารถอธิบายความแปรผันของค่าปริมาณไขมันที่สกัดได้ด้วยตัวแปรต้นซึ่งได้แก่ ความชื้นของเมล็ดงา เวลาที่ใช้ในการสกัด และขนาดของเมล็ดงาได้ดีมาก เนื่องจากค่า R^2 มีค่าใกล้ 1 นอกจากนี้จากตารางที่ 8 ยังแสดงให้เห็นว่าสมการอธิบายความสัมพันธ์ที่ได้ทั้งสองสมการมีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นของ lack of fit มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานในการทดสอบที่กล่าวว่า “ไม่มี lack of fit” ก็คือ สมการที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้นั่นเอง

จากตารางที่ 9 เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของสัมประสิทธิ์ในแต่ละพจน์ของสมการ พบว่าค่าความน่าจะเป็นของสัมประสิทธิ์ทุกตัว (ยกเว้นในพจน์ของอิทธิพลของระยะเวลาการสกัดในเชิงเส้นตรง และอิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างความชื้นของเมล็ดงาและระยะเวลาในการสกัดสำหรับการสกัดโดยใช้เฮกเซน) มีค่าความน่าจะเป็นน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์ของพจน์นั้นๆ แสดงอิทธิพลต่อค่าปริมาณไขมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเพื่อเป็นการทดสอบสมการที่ได้จากการทดลอง จึงสกัดไขมันตามสภาวะที่เหมาะสมแล้วคำนวณหาปริมาณไขมันที่ได้จากการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันที่คำนวณได้จากสมการ (ตารางที่ 10) จากผลแสดงให้เห็นว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้จริงจากการทดลอง และจากการคำนวณมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) นั่นคือสมการที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณไขมันที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์ได้ดี

ตารางที่ 10 ปริมาณไขมันที่สกัดได้จริงจากการทดลองและปริมาณไขมันที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ

Solvent	% Extracted fat (dry basis)	
	Experimental value	Predicted value
Hexane	37.25 ^a	37.53 ± 0.55 ^a
Petroleum ether	39.85 ^a	39.45 ± 0.30 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษร a ที่เหมือนกันในแนวนอนแสดงความไม่แตกต่างในทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อทำการสร้างแผนภาพพื้นผิวตอบสนองเพื่อใช้ในการอธิบายอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ร่วมกับสมการ ได้แผนภาพพื้นผิวตอบสนองดังแสดงในภาพที่ 12 และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวโดยพิจารณาจากสมการพร้อมกับแผนภาพพื้นผิวตอบสนอง จากสมการพบว่า ทั้งความชื้นเมล็ดงา ระยะเวลาในการสกัด และขนาดเมล็ดงาแสดงอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ทั้งแบบเส้นตรงในเชิงบวกและแบบเส้นโค้งในเชิงลบ ทั้งในการสกัดโดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์ (สมการที่ 1 และ 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความชื้น เวลา และขนาดเมล็ดงาในระดับต่ำ เมื่อเพิ่มค่าเหล่านี้ให้สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นด้วย จนกระทั่งเมื่อเพิ่มระดับของปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอีกปริมาณไขมันที่สกัดได้จะมีแนวโน้มคงที่ และเมื่อเพิ่มระดับของปัจจัยขึ้นไปเรื่อยๆ จะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้ลดลง ดังจะเห็นได้จากแผนภาพพื้นผิวตอบสนอง (ภาพที่ 12) ซึ่งพบว่าในช่วงต้นเมื่อเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นอีกปริมาณไขมันที่สกัดได้ก็จะลดต่ำลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 12A₁, 12A₂, 12B₁ และ 12B₂) ทั้งนี้อาจเนื่องจากตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจะซึมผ่านเนื้อเยื่อที่มีความชื้นสูงได้ยากส่งผลให้ตัวทำละลายทำงานได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ตัวทำละลายบางตัวอาจจะดูดความชื้นทำให้อิ่มตัวไปด้วยน้ำและมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดลง (Shahidi and Wanasundara, 2002)

ทำนองเดียวกันกับผลของขนาดเมล็ดงา ในช่วงขนาดเมล็ดงาเล็กๆ เมื่อเพิ่มขนาดเมล็ดงาให้ใหญ่ขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้สูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งเมื่อเพิ่มขนาดเมล็ดงาให้ใหญ่ขึ้นไปอีกปริมาณไขมันที่สกัดได้ก็จะลดลง (ภาพที่ 12A₂, 12A₃, 12B₂ และ 12B₃) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมล็ดงาที่มีขนาดเล็กจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัตถุดิบส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับวัตถุดิบได้มากขึ้น (Mani, *et al.*, 2007) แต่อย่างไรก็ตามถ้าขนาดของวัตถุดิบเล็กเกินไปอาจทำให้วัตถุดิบอัดกันแน่นส่งผลให้ตัวทำละลายซึมผ่านเข้าสู่วัตถุดิบได้ยากขึ้น (นิธิยา, 2548) ส่วนถ้าวัตถุดิบมีขนาดใหญ่เกินไปจะส่งผลให้ตัวทำละลายซึมผ่านเข้าสู่วัตถุดิบได้ยากเช่นกันเนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อย (Mani, *et al.*, 2007)

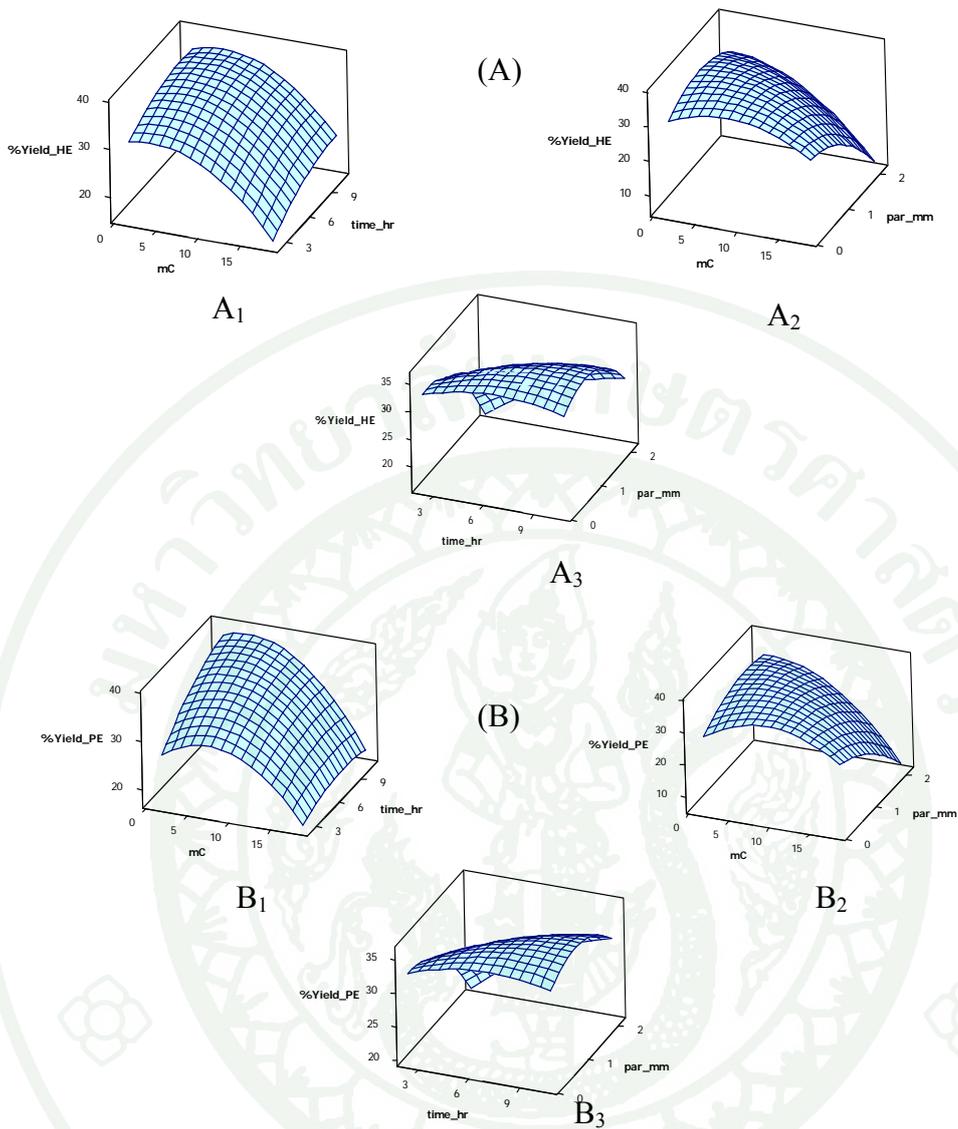
ส่วนระยะเวลาในการสกัดนั้นพบว่าในช่วงต้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดต่อไปส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และลดลงในที่สุด (ภาพที่ 12A₁, 12A₃, 12B₁ และ 12B₃) ทั้งนี้อาจเนื่องจากในช่วงต้นของการสกัดจะมีอัตราการสกัดที่สูงส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันออกมามาก และเมื่อเวลาในการสกัดนานขึ้นอัตราการสกัดก็จะลดต่ำลงเนื่องจากไขมันส่วนใหญ่ได้ถูกสกัดออกมาแล้ว จนในที่สุดปริมาณไขมันที่สกัดออกมาได้ควรจะคงที่ (Christensen, 1983) แต่ทั้งนี้จากแผนภาพพื้นผิว

ตอบสนองจะพบว่าปริมาณไขมันที่ได้จากการสกัดที่เวลานานๆ จะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการสร้างแผนภาพและสมการ เนื่องจากจุดของข้อมูลที่อยู่ในช่วงเวลาสูงๆ อาจน้อยไป ทำให้เกิดการประเมินแนวโน้มของข้อมูลพลาดไป (Hu, 1999)

นอกจากนี้จากสมการในการสกัดโดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์ (สมการที่ 1 และ 2) ยังพบว่าอันตรกิริยาระหว่างความชื้นและขนาดของเมล็ดงา ยังแสดงอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติด้วย แสดงว่าการแสดงอิทธิพลของความชื้นต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้จะเปลี่ยนไปเมื่อระดับของขนาดเมล็ดงาเปลี่ยนแปลงไป และการแสดงอิทธิพลของขนาดเมล็ดงาต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อระดับของความชื้นเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน (Hu, 1999) เห็นได้จากแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างความชื้นกับขนาดเมล็ดงา (ภาพที่ 12A₂ และ 12B₂) พบว่าเมล็ดงาในช่วงที่มีขนาดเล็ก เมื่อเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นในช่วงแรกส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นเมื่อเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นอีก ปริมาณไขมันที่สกัดได้ก็จะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่เมื่อเมล็ดงาในช่วงที่มีขนาดใหญ่ พบว่าเมื่อเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นในช่วงแรกปริมาณไขมันที่สกัดได้จะลดลงอย่างช้าๆ จากนั้นเมื่อเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นอีก พบว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้จะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันที่ความชื้นระดับต่ำ เมื่อเพิ่มขนาดเมล็ดงาให้สูงขึ้นปริมาณไขมันที่สกัดได้จะสูงขึ้นอย่างช้าๆ และเมื่อขนาดเมล็ดงาใหญ่มากๆ ส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้ลดลง ในขณะที่เมื่อความชื้นอยู่ในระดับสูงพบว่าเมื่อขนาดเมล็ดงาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้น จนที่ขนาดเมล็ดงาหนึ่งเมื่อขนาดเมล็ดงาเริ่มใหญ่มากปริมาณไขมันที่สกัดได้จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจากสมการแสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาระหว่างความชื้นและขนาดเมล็ดงา เป็นอันตรกิริยาในเชิงลบ นั่นคือเมื่อตัวอย่างมีความชื้นและขนาดเมล็ดงาสูงเกินไปส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้ต่ำ

นอกจากนี้จากสมการที่ 1 และ 2 ยังพบว่าอันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการสกัดและขนาดเมล็ดงาแสดงอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติด้วยเช่นกัน แสดงว่าการแสดงอิทธิพลของเวลาต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้จะเปลี่ยนไปเมื่อขนาดเมล็ดงาเปลี่ยนแปลงไป และการแสดงอิทธิพลของขนาดเมล็ดงาต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อระยะเวลาการสกัดเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน (Hu, 1999) เห็นได้จากแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างเวลากับขนาดเมล็ดงา (ภาพที่ 12A₃ และ 12B₃) พบว่าเมล็ดงาในช่วงที่มีขนาดเล็ก เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดให้นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และลดลงในที่สุด ในขณะที่เมล็ดงาในช่วงที่มีขนาดใหญ่ พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดให้นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะเดียวกันที่

ระยะเวลาในการสกัดในช่วงสั้นๆ เมื่อเพิ่มขนาดเมล็ดงาให้สูงขึ้นปริมาณไขมันที่สกัดได้จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขนาดเมล็ดงาระดับกลางๆ จากนั้นเมื่อเพิ่มขนาดเมล็ดงาขึ้นไปอีกปริมาณไขมันที่สกัดได้ก็จะลดต่ำลง ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการสกัดในช่วงระยะเวลานานๆ พบว่าเมื่อขนาดเมล็ดงาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งขนาดเมล็ดงาใหญ่มากปริมาณไขมันที่สกัดได้จึงจะลดลง ซึ่งจากสมการแสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการสกัดและขนาดเมล็ดงา เป็นอันตรกิริยาในเชิงบวก เมื่อตัวอย่างมีขนาดเมล็ดงาค่อนข้างใหญ่และมีระยะเวลาในการสกัดที่นานพอส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้สูง นอกจากนี้จากสมการในการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ยังพบว่าอันตรกิริยาระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการสกัดแสดงอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย แสดงว่าการแสดงอิทธิพลของความชื้นต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้จะเปลี่ยนไปเมื่อระยะเวลาในการสกัดเปลี่ยนแปลงไป และการแสดงอิทธิพลของเวลาต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อระดับของความชื้นเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน (Hu, 1999) ดังจะเห็นได้จากแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างความชื้นกับเวลา (ภาพที่ 12B₁) พบว่าที่ความชื้นในระดับต่ำเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดให้นานขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่เมื่อความชื้นอยู่ในระดับสูงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดให้นานขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะเดียวกันที่ระยะเวลาในการสกัดในช่วงสั้นๆ เมื่อเพิ่มความชื้นในช่วงแรกจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่ความชื้นระดับหนึ่งเมื่อเพิ่มความชื้นต่อไปอีกจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้ลดต่ำลงเรื่อยๆ ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการสกัดอยู่ในช่วงระยะเวลานานๆ เมื่อเพิ่มความชื้นในช่วงแรกจะส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากนั้นเมื่อเพิ่มระดับของความชื้นอีกจะพบว่าปริมาณไขมันที่สกัดได้จะลดลงเร็วกว่าที่ระยะเวลาในการสกัดในช่วงสั้นๆ เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นได้ว่าการแสดงอิทธิพลของเวลาที่ระดับของความชื้นที่ต่างกัน และการแสดงอิทธิพลของความชื้นที่ระดับของเวลาที่ต่างกันจะไม่มี ความแตกต่างกันมากนักทั้งนี้เนื่องจากขนาดอิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการสกัดค่อนข้างจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ



ภาพที่ 12 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองของปริมาณไขมันที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซน (A) และปิโตรเลียมอีเทอร์ (B) โดย A₁ และ B₁ เป็นแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างความเข้มข้นของเมล็ดงา (%w/w) และระยะเวลาในการสกัด (ชม.) A₂ และ B₂ เป็นแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างความเข้มข้นของเมล็ดงา (%w/w) และขนาดของเมล็ดงา (มม.) และ A₃ และ B₃ เป็นแผนภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างระยะเวลาในการสกัด (ชม.) และขนาดของเมล็ดงา (มม.) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากแผนภาพพื้นผิวตอบสนองทั้ง 3 ภาพร่วมกันแล้วพบว่าในกรณีที่ต้องการให้ได้ปริมาณไขมันสูงจากการสกัดโดยใช้เฮกเซน (ภาพที่ 12A₁, 12A₂ และ 12A₃) ควรทำการเตรียมวัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ ขนาดเมล็ดงากลางๆ และทำการสกัดเป็นระยะเวลาค่อนข้างนาน ส่วนการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์นั้น (ภาพที่ 12B₁, 12B₂ และ 12B₃) ควรทำการเตรียมวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ ขนาดเมล็ดงาก่อนข้างใหญ่ และทำการสกัดเป็นระยะเวลาค่อนข้างนาน ซึ่งจากการหาสถานะที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ปริมาณไขมันที่สกัดได้สูงสุดโดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่าสถานะที่ทำให้ได้ปริมาณไขมันสูงสุดในการสกัดโดยใช้เฮกเซนเป็นดังนี้ คือ ความชื้นของเมล็ดงา 5.67 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการสกัด 9 ชั่วโมง และขนาดของวัตถุดิบ 0.97 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณไขมันที่สกัดได้ เท่ากับ 37.25 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นดังนี้ คือ ความชื้นของเมล็ดงา 2.10 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการสกัด 10.71 ชั่วโมง และขนาดของวัตถุดิบ 1.83 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณไขมันที่สกัดได้เท่ากับ 39.85 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างของสถานะที่เหมาะสมในการสกัดและปริมาณไขมันสูงสุดที่สกัดได้อาจเกิดเนื่องจากธรรมชาติของตัวทำละลายที่แตกต่างกัน (Mani, *et al.*, 2007; Mahatta, n.d.) Herrero *et al.* (2005) รายงานว่าเฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์มีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.9 และ 4.3 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปิโตรเลียมอีเทอร์มีขั้วมากกว่าเฮกเซน จึงอาจส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้มีค่ามากกว่าเฮกเซน เนื่องจากใน ไขมันที่สกัดได้อาจประกอบด้วยไขมันที่มีขั้วในปริมาณที่มากกว่าการสกัดโดยใช้เฮกเซน

เมื่อพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์พบว่าการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์จะให้ปริมาณไขมันที่สูงกว่าการสกัดโดยใช้เฮกเซน อย่างไรก็ตามแต่เมื่อพิจารณาสถานะที่ใช้ในการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์พบว่าการเตรียมวัตถุดิบต้องลดความชื้นของเมล็ดงาให้ต่ำถึง 2.1 เปอร์เซ็นต์ และต้องใช้ระยะเวลาในการสกัดนานถึง 10 ชั่วโมง 42 นาที ซึ่งจะต้องใช้พลังงานสูงกว่าการสกัดโดยใช้เฮกเซนเพื่อให้ได้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้เฮกเซนยังมีราคาถูกกว่าปิโตรเลียมอีเทอร์อีกด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาในทางเศรษฐศาสตร์แล้วเฮกเซนน่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดงามากกว่า ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

3. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.1 ค่าไอโอดีน (Iodine value)

ค่าไอโอดีนของไขมันและน้ำมันเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันและน้ำมันนั้นๆ (Abdalla *et al.*, 2006; Giannelos *et al.*, 2005) จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของไขมันเมล็ดเงาะพบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 41.63 ± 1.2 กรัมต่อตัวอย่างไขมัน 100 กรัม (ตารางที่ 11) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำแสดงให้เห็นว่าในไขมันเมล็ดเงาะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณน้อย ดังนั้นจึงมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันสูง (Rouhot *et al.*, 2007; Onyieke and Acheru, 2002) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดเงาะ (ตารางที่ 16) พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลักคือ 49.57 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าไอโอดีน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนที่วิเคราะห์ได้ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Mohibbe *et al.* (2005) และ Fuentes *et al.* (2010) โดยรายงานว่า ค่าไอโอดีนของไขมันเมล็ดเงาะมีค่า 44.2 และ 47 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงไขมันหรือน้ำมันชนิดอื่นที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง เช่น เนยโกโก้ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มเคอร์เนล ซึ่งมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ 62.5, 93.5, 49.6 และ 86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Abraham and Hron, 1992) จะมีค่าไอโอดีนที่ต่ำ คือ 33-40, 6-11, 50-55 และ 13-23 กรัมต่อตัวอย่างไขมัน 100 กรัม ตามลำดับ (Gunstone *et al.*, 1986) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับไขมันจากเมล็ดเงาะ

3.2 ค่าสaponification (Saponification value)

ค่าสaponification ของไขมันและน้ำมันเป็นค่าที่บ่งบอกถึงขนาดโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ (Bockisch, 1998) จากการวิเคราะห์ค่าสaponification ของไขมันเมล็ดเงาะพบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่าสaponification เท่ากับ 165.57 ± 2.90 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อไขมัน 1 กรัม (ตารางที่ 11) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่า กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย (Onyieke and Acheru, 2002; Dosunmu and Ochu, 1995) และใช้ต่างปริมาณน้อยในการเกิด ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดเงาะ (ตารางที่ 16) พบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดสายยาว คือมีจำนวน

คาร์บอนในโมเลกุลมากกว่า 16 อะตอมขึ้นไป (นิธิยา, 2548) เมื่อประกอบกันเป็นไตรกลีเซอไรด์แล้วจึงส่งผลให้ไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าสaponification ในขณะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดสายกลาง เช่น น้ำมันมะพร้าว ซึ่งมีกรดลอริก (12:0) และกรดไมริสติก (14:0) ในปริมาณสูง พบว่ามีค่าสaponification ที่สูงถึง 248-265 มิลลิกรัมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อไขมัน 1 กรัม (Gunstone *et al.*, 1986) ซึ่งให้ผลในทางตรงกันข้ามกับไขมันเมลิคเงาะ อย่างไรก็ตามค่าสaponification ที่วิเคราะห์ได้มีค่าแตกต่างจากค่าที่รายงานโดย Mohibbe *et al.* (2005) และ Fuentes *et al.* (2010) เล็กน้อยโดยรายงานค่าสaponification ของไขมันเมลิคเงาะมีค่า 191.4 และ 186 ตามลำดับ ความแตกต่างนี้อาจเกิดเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สายพันธุ์ สภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต ระยะของการเจริญเติบโตและการเก็บเกี่ยวผลเงาะซึ่งอาจส่งผลต่อองค์ประกอบและสมบัติของเมลิคเงาะ นอกจากนี้การเก็บรักษา กระบวนการในการสกัดไขมัน รวมทั้งเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์อาจส่งผลให้เกิดความแตกต่างเช่นกัน (Rouhou *et al.*, 2007)

3.3 ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ (Unsaponifiable matter)

ค่าปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณสารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมันซึ่งเหลืออยู่หลังการทำสaponification ได้แก่ สารจำพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน วิตามินอี โพลีฟีนอล แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสเตอรอล เป็นต้น สารที่สaponification ไม่ได้บางชนิด เช่น วิตามินอี และสเตอรอล มีความสำคัญต่อคุณลักษณะและความคงตัวของไขมันและน้ำมัน (Sim *et al.*, 1972) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ของไขมันเมลิคเงาะพบว่าไขมันเมลิคเงาะมีปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้เท่ากับ 0.19 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 11) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ในไขมันเมลิคเงาะกับไขมันหรือน้ำมันจากแหล่งอื่น(ตารางที่ 5) พบว่าไขมันเมลิคเงาะมีปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ใกล้เคียงกับไขมันหรือน้ำมันทั่วไป ซึ่งโดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมีส่วนที่สaponification ไม่ได้อยู่ไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยา, 2548) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อไขมันหรือน้ำมันผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้จะลดลง ปริมาณสารที่สaponification ไม่ได้ที่สำคัญ เช่น สเตอรอลและวิตามินอีในไขมันเมลิคเงาะ ดังรายละเอียดในข้อ 5 และ 6 ตามลำดับ

3.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ค่าความถ่วงจำเพาะเป็นค่าที่เปรียบเทียบความหนาแน่นของสารใดๆ กับความหนาแน่นของน้ำ (Onyieke and Acheru, 2002) จากการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันเมล็ดเงาะ พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.8776 ± 0.004 (ตารางที่ 11) เมื่อเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันเมล็ดเงาะกับไขมันหรือน้ำมันจากแหล่งอื่น (ตารางที่ 5) พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับไขมันหรือน้ำมันทั่วไป โดยเฉพาะเนยโกโก้ และ shea butter ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.856-0.864 และ 0.859-0.869 ตามลำดับ (Gunstone *et al.*, 1986) โดยปกติไขมันและน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันจึงมีค่าไม่เกิน 1 ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบมีน้ำหนักโมเลกุลและความไม่อิ่มตัวเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นความถ่วงจำเพาะจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราในการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน (Sikorski and Kolakowska, 2003) ไขมันเมล็ดเงาะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ไม่สูงนักเมื่อเปรียบเทียบกับไขมันหรือน้ำมันจากแหล่งอื่น แสดงให้เห็นว่าไขมันเมล็ดเงาะมีอัตราในการเกิดออกซิเดชันต่ำหรือมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าไอโอดีน (ตารางที่ 11) และองค์ประกอบของกรดไขมัน (ตารางที่ 16)

3.5 การหักเหแสง (Refractive index)

ค่าการหักเหแสงเป็นอัตราส่วนระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของแสงเมื่อผ่านตัวกลางใดๆ (Bockisch, 1998) ซึ่งมีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจสอบชนิด คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน จากการวิเคราะห์ค่าการหักเหแสงของไขมันเมล็ดเงาะพบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่าการหักเหแสงเท่ากับ 1.469 ± 0.001 (ตารางที่ 11) เมื่อเปรียบเทียบค่าการหักเหแสงของไขมันเมล็ดเงาะกับไขมันหรือน้ำมันจากแหล่งอื่น (ตารางที่ 5) พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่าการหักเหแสงใกล้เคียงกับไขมันหรือน้ำมันทั่วไป นอกจากนี้ค่าการหักเหแสงที่วิเคราะห์ได้ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Fuentes *et al.* (2010) โดยรายงานค่าการหักเหแสงของไขมันเมล็ดเงาะมีค่าเท่ากับ 1.468

ตารางที่ 11 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ

Properties	Rambutan seed fat
Iodine value (g/100g oil)	41.63 ± 1.20
Saponification value (mgKOH/g oil)	165.57 ± 2.90
Unsaponifiable matter (% of total lipid)	0.19 ± 0.04
Specific gravity	0.8776 ± 0.004
Refractive index	1.469 ± 0.001
Oxidation stability : Induction time (h)	3.93 ± 0.09

3.6 สี (Color)

ไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดมีสีแตกต่างกันขึ้นกับสารสีที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาสกัดไขมัน ไขมันเมล็ดเงาะมีลักษณะเป็นไขมันแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสีพบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 86.87 ± 0.97 , -2.06 ± 0.48 และ 3.55 ± 0.35 ตามลำดับเนื่องจากค่า L^* มีค่าใกล้ 100 แสดงว่าไขมันเมล็ดเงาะมีความสว่างมาก นอกจากนี้ค่า b^* มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าไขมันเมล็ดเงาะมีสีเหลือง และค่า a^* ที่ติดลบแสดงให้เห็นว่าไขมันเมล็ดเงาะมีสีเขียวปนอยู่ด้วย (Besbe *et al.*, 2004; Rouhou *et al.*, 2007) แต่อย่างไรก็ตาม ค่า b^* และ a^* มีค่าเป็นบวกและลบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อมองด้วยตาเปล่าจึงอาจเห็นสีเหล่านี้ในระดับที่อ่อนมาก เมื่อนำไขมันเมล็ดเงาะไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าสีพบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 66.34 ± 0.18 , -2.31 ± 0.46 และ 6.62 ± 0.56 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อไขมันเมล็ดเงาะหลอมละลายกลายเป็นของเหลวจะมีความสว่างลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่า L^* ที่ลดลง และค่า b^* ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างในทางสถิติพบว่า ค่า L^* และ b^* ของไขมันเมล็ดเงาะก่อนและหลังการหลอมละลายมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม ค่า a^* ของไขมันเมล็ดเงาะก่อนและหลังการหลอมละลายมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของไขมันเมล็ดเงาะหลังการหลอมละลายกับค่าสีของน้ำมันพืชทั่วไปพบว่าค่าสีที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันมะกอก และน้ำมันข้าวโพด จะมีค่า L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 63.4-69.5, 3.8-4.4 และ 9.2-10.4 ตามลำดับ (Hsu and Yu, 2002) ไขมันเมล็ดเงาะหลังการหลอมละลายมีค่า L^* อยู่ในช่วงเดียวกับน้ำมันพืชทั่วไป ส่วนค่า a^* ของน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก ในขณะที่ไขมันเมล็ดเงาะมีค่าเป็นลบ และค่า b^* ต่ำกว่าน้ำมันพืชทั่วไปเล็กน้อยซึ่งอาจ

เนื่องจากไขมันเมล็ดเงาะมีสารสีที่ให้สีเหลืองและแดง (แคโรทีนอยด์) เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำมันพืชทั่วไป (Rouhou *et al.*, 2007)

ตารางที่ 12 ค่าสีของไขมันเมล็ดเงาะก่อนและหลังการหลอมละลาย

Rambutan seed fat	CIELab coordinates		
	L*	a*	b*
Before melting (Solid fat)	86.87 ± 0.97 ^a	-2.06 ± 0.48 ^a	3.55 ± 0.35 ^a
After melting (Liquid oil)	66.34 ± 0.18 ^b	-2.31 ± 0.46 ^a	6.62 ± 0.56 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.7 จุดหลอมเหลว (Melting point) และจุดเกิดผลึก (Crystallization point)

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน (Thermal profile) ของไขมันโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ แล้วพิจารณาจุดหลอมเหลวของไขมันจากกราฟของการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง พบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ตัวอย่างมีการดูดพลังงานความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ไขมันเมล็ดเงาะแสดงพีคของการดูดพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะทั้งหมด 3 พีค ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 4.23 ± 0.59 , 37.45 ± 0.70 และ 49.83 ± 1.31 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 13) โดยอุณหภูมิที่เริ่มมีการดูดพลังงานความร้อน (Onset temperature) อุณหภูมิที่สิ้นสุดการดูดพลังงานความร้อน (Offset temperature) และปริมาณพลังงานความร้อนที่ดูดเข้าไปเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ (Melting enthalpy) ของแต่ละพีค ดังแสดงในตารางที่ 13 การที่ไขมันเมล็ดเงาะมีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้เนื่องจากไขมันเมล็ดเงาะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายชนิด (Abdulkarim *et al.*, 2005; Besbe *et al.*, 2004; Fuentes *et al.*, 2010; Herrera and Anon, 1991; Rouhou *et al.*, 2007) ซึ่งไตรกลีเซอไรด์เหล่านั้นอาจมีการจัดเรียงตัวในรูปแบบที่ต่างกัน นอกจากนั้นในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์อาจประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ กันซึ่งความยาวของสายโซ่คาร์บอนและจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันก็จะส่งผลต่อจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ด้วย องค์ประกอบของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงอาจประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่มีความคงตัวมากหรือไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงและมีสายโซ่คาร์บอนที่ยาว

ในขณะที่เดียวกันองค์ประกอบของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิห้องประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่มีความคงตัวน้อยหรือ ไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงและมีสายโซ่คาร์บอนที่สั้น (Abdulkarim *et al.*, 2005; Rouhou *et al.*, 2007; Saloua *et al.*, 2009)

นอกจากจุดหลอมเหลวของไขมันแล้ว ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดผลึกของไขมันอีกด้วย เมื่อมีการลดอุณหภูมิแก่ตัวอย่างตัวอย่างมีการคายพลังงานความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ไตรกลีเซอไรด์ที่มีอุณหภูมิในการเกิดผลึกหรือจุดหลอมเหลวสูงจะเกิดผลึกก่อน ตามด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีอุณหภูมิในการเกิดผลึกหรือจุดหลอมเหลวต่ำ ตามลำดับ (Fuentes *et al.*, 2010) ไขมันเมล็ดงาแสดงพีคของการคายพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะทั้งหมด 3 พีค ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 40.87 ± 1.67 , 19.12 ± 0.55 และ -16.12 ± 0.41 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 13) โดยอุณหภูมิที่เริ่มมีการคายพลังงานความร้อน (Onset temperature) อุณหภูมิที่สิ้นสุดการคายพลังงานความร้อน (Offset temperature) และปริมาณพลังงานความร้อนที่คายออกมาเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ (Melting enthalpy) ของแต่ละพีค ดังแสดงในตารางที่ 13

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของไขมันเมล็ดงาที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่รายงาน โดย Fuentes *et al.* (2010) พบว่าค่าที่ได้มีค่าแตกต่างกัน โดย Fuentes *et al.* (2010) รายงานว่าไขมันเมล็ดงามีอุณหภูมิในการหลอมเหลวที่ 1.9, 13.9, 24.3, 31.2 และ 45.9 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามพีคของการคายพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะมีการแยกกันไม่ชัดเจนนัก นอกจากนี้ยังรายงานว่าไขมันเมล็ดงามีอุณหภูมิในการเกิดผลึกที่ 30.8, 15.1 และ 2.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมเหลวของไขมันเมล็ดงาที่รายงาน โดย Fuentes *et al.* (2010) ต่ำกว่าที่วิเคราะห์ได้เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดงาที่แตกต่างกัน โดย Fuentes *et al.* (2010) รายงานว่าไขมันเมล็ดงามีกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณที่สูงกว่าที่วิเคราะห์ได้เล็กน้อย คือ 40.3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปริมาณกรดกรดโอเลอิกที่วิเคราะห์ได้ เท่ากับ 36.79 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ความแตกต่างอาจเกิดขึ้นเนื่องจากไขมันซึ่งสกัดจากวัตถุดิบที่ต่างกันหรือสถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 13 อุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวและการเกิดผลึกของไขมันเมล็ดเงาะและเนยโกโก้

Parameter	Rambutan seed fat			Cocoa butter
	First peak	Second peak	Third peak	First peak
Melting				
Onset temperature (°C)	-4.51 ± 0.67	32.5 ± 0.15	44.88 ± 0.95	32.53 ± 0.52
Peak temperature (°C)	4.23 ± 0.59	37.45 ± 0.70	49.83 ± 1.31	36.25 ± 0.50
Offset temperature (°C)	6.7 ± 0.65	39.55 ± 0.55	58.92 ± 0.89	38.30 ± 0.24
Melting enthalpy (J/g)	32.12 ± 1.48	43.18 ± 1.93	10.11 ± 1.83	125.02 ± 1.75
Crystallization				
Onset temperature (°C)	44.62 ± 1.96	20.56 ± 0.63	-14.79 ± 0.43	15.72 ± 0.11
Peak temperature (°C)	40.87 ± 1.67	19.12 ± 0.55	-16.12 ± 0.41	13.24 ± 0.10
Offset temperature (°C)	37.83 ± 0.23	9.38 ± 0.81	-17.31 ± 0.51	8.36 ± 0.27
Crystallization enthalpy (J/g)	27.23 ± 1.92	39.87 ± 1.67	25.02 ± 0.68	82.61 ± 1.98

เนื่องจากมีรายงานว่าไขมันเมล็ดเงาะมีสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น ลักษณะที่อุณหภูมิห้องและลักษณะการหลอมเหลวที่คล้ายเนยโกโก้ จึงมีการนำเนยโกโก้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบสมบัติดังกล่าว โดยเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของไขมันเมล็ดเงาะกับเนยโกโก้ พบว่า เนยโกโก้มีช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลวและการเกิดผลึกที่แคบกว่าไขมันเมล็ดเงาะ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเนยโกโก้มีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่หลากหลาย โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยปาล์มิโตโอเลโอสเตียร์น (Martinez *et al.*, 2007) นอกจากนี้เนยโกโก้ที่นำมาวิเคราะห์ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วจึงมีองค์ประกอบอื่นปลอมปนอยู่น้อยกว่าไขมันเมล็ดเงาะ จากการวิเคราะห์พบว่าเนยโกโก้แสดงพิกของการหลอมเหลวและการเกิดผลึกที่อุณหภูมิ 36.25 ± 0.5 และ 13.24 ± 0.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยอุณหภูมิที่เริ่มมีการดูดหรือคายพลังงานความร้อน (Onset temperature) อุณหภูมิที่สิ้นสุดการดูดหรือคายพลังงานความร้อน (Offset temperature) และปริมาณพลังงานความร้อนที่ดูดหรือคายเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ (Melting enthalpy) ดังแสดงในตารางที่ 13 สังกัดได้ว่าองค์ประกอบของไขมันเมล็ดเงาะในพิกที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่มีความคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ความร้อนของเนยโกโก้ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าไขมันเมล็ดเงาะอาจมีไตรกลีเซอไรด์ที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกับเนยโกโก้เป็นองค์ประกอบ

3.8 โครงสร้างผลึกของไขมัน (Crystal polymorphism)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไขมันโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟเฟรคโตมิเตอร์ พบว่าไขมันเมล็ดเงาะประกอบด้วยผลึกในฟอร์ม β และ β' ในปริมาณ 84.70 ± 1.15 และ 15.30 ± 1.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 14) แสดงให้เห็นว่าไขมันเมล็ดเงาะประกอบด้วยผลึกที่มีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง (Czerniak *et al.*, 2005; Ghotra *et al.*, 2002; McClements and Decker, 2007) ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับจุดหลอมเหลวที่สูงของไขมันเมล็ดเงาะ (ตารางที่ 13) และองค์ประกอบของกรดไขมันซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีสายโซ่ยาวเป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 16) จากการที่ไขมันเมล็ดเงาะประกอบด้วยผลึกในฟอร์ม β ซึ่งเป็นผลึกฟอร์มที่เสถียรที่สุด (Czerniak *et al.*, 2005; Ghotra *et al.*, 2002; McClements and Decker, 2007) เป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับเนยโกโก้ อาจมีการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลักษณะปรากฏหรือเนื้อสัมผัสเฉพาะตัวของผลึกในฟอร์ม β เช่น การใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นเกล็ด (flakiness) หรือการใช้ในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตเพื่อเพิ่มความคงตัวต่ออุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (McClements and Decker, 2007)

ตารางที่ 14 โครงสร้างผลึกของไขมันเมล็ดเงาะ

Polymorphic forms	Content (%)
Beta (β)	84.70 ± 1.15
Beta-prime (β')	15.30 ± 1.15

4. องค์ประกอบไขมัน

จากการแยกองค์ประกอบของไขมันเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ โมโน-ได- ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ และฟอสโฟลิพิด โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีชนิดแผ่นบางประสิทธิภาพสูง เมื่อพิจารณาค่า Retention factor (R_f) ขององค์ประกอบของไขมันทั้ง 5 ส่วน พบว่าไตรกลีเซอไรด์สามารถเคลื่อนที่บนแผ่นแก้วโครมาโตกราฟีได้ไกลที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ Retention factor เท่ากับ 79 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15) ตามด้วยกรดไขมันอิสระ ไตรกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์

และฟอสโฟลิพิด ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ Retention factor เท่ากับ 67, 54, 48 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 15) เนื่องจากฟอสโฟลิพิดจัดอยู่ในกลุ่มไขมันที่มีขี้ว (Keefee, 2002) จึงถูกดูดซับบนแผ่นแก้วโครมาโตกราฟีซึ่งตัวดูดซับมีความเป็นขี้วได้มากที่สุด ส่งผลให้สามารถเคลื่อนที่บนแผ่นแก้วโครมาโตกราฟีได้น้อยที่สุด (Fried, 1996; Mangold, 1969) ส่วนโมโน- ไค- ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระจัดอยู่ในกลุ่มไขมันที่เป็นกลางหรืออาจมีความเป็นขี้วเล็กน้อย (Keefee, 2002) จึงถูกดูดซับบนแผ่นแก้วโครมาโตกราฟีได้น้อยกว่า โดยไตรกลีเซอไรด์เป็นไตรเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุลซึ่งไม่มีขี้ว จึงถูกดูดซับบนแผ่นแก้วโครมาโตกราฟีได้น้อยที่สุดและเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด ส่วนโมโนกลีเซอไรด์ซึ่งเกิดจากกลีเซอรอลที่ทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน 1 โมเลกุลและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ในโมเลกุลถึง 2 หมู่จึงแสดงความมีขี้วมากกว่าสารประกอบอื่นๆ ในกลุ่ม และถูกดูดซับบนแผ่นแก้วโครมาโตกราฟีได้มากกว่าเช่นกัน (Mangold, 1969; Storry and Tuckley, 1967; Mangold and Malins, 1960)

ตารางที่ 15 องค์ประกอบของไขมันเมล็ดเงาะ

Lipid classes	Retention factor (R_f) x 100	Content (% of total lipids)
Triglycerides	79	90.37 ± 2.20
Diglycerides	54	1.46 ± 0.05
Monoglycerides	48	1.01 ± 0.08
Free fatty acids	67	7.24 ± 0.10
Phospholipids	17	n.d.

หมายเหตุ n.d. คือ ไม่พบสารดังกล่าว

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของไขมันเมล็ดเงาะ พบว่าองค์ประกอบหลักของไขมันเมล็ดเงาะ คือ ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีปริมาณ 90.37 ± 2.20 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 15) สอดคล้องกับไขมันและน้ำมันทั่วไปซึ่งพบไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ (Abdalla *et al.*, 2006; Ramadan *et al.*, 2006; Liaset *et al.*, 2003; Keefee, 2002) นอกจากนี้ในไขมันเมล็ดเงาะ ยังประกอบด้วย กรดไขมันอิสระ ไคกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ในปริมาณ 7.24 ± 0.10 , 1.46 ± 0.05 และ 1.01 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะพบปริมาณเล็กน้อยในไขมันและน้ำมันทั่วไป (Abdalla *et al.*, 2006; Ramadan *et al.*,

2006; Keefe, 2002) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อไขมันหรือน้ำมันผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์พบว่า องค์ประกอบเหล่านี้จะมีปริมาณลดลง เช่น กรดไขมันอิสระในไขมันหรือน้ำมันจะมีปริมาณลดลง เมื่อผ่านกระบวนการรีไฟน์ด้วยต่างหรือการกำจัดกลิ่น เป็นต้น (Tatum and Chow, 1992) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของไขมันเมล็ดงาด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีชนิดแผ่นบาง ประสิทธิภาพสูง พบว่าไขมันเมล็ดงาไม่มีฟอสโฟลิพิดเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 15) ทั้งนี้ไขมัน และน้ำมันทั่วไปจะมีฟอสโฟลิพิดเป็นองค์ประกอบในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น เช่น น้ำมันถั่วเหลือง มีปริมาณ 1.8 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันเมล็ดฝ้ายมีปริมาณ 0.7-0.9 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันรำข้าวมีปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันงามีปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (Swern, 1982) แต่อย่างไรก็ตามในไขมันและ น้ำมันบางชนิด อาจไม่พบฟอสโฟลิพิดเป็นองค์ประกอบ เช่น ในน้ำมันเซลมอน เป็นต้น (Liaset *et al.*, 2003)

5. องค์ประกอบกรดไขมัน

องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันหรือน้ำมันเป็นตัวกำหนดสมบัติทางกายภาพ ความคงตัวและคุณค่าทางโภชนาการของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ (Pritchard, 1991) จากการวิเคราะห์ องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดงาพบว่า ไขมันเมล็ดงาประกอบด้วยกรดไขมันชนิด อิ่มตัวถึง 49.57 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่พบมากที่สุด ได้แก่ กรดอะราคิติก พบ ในปริมาณ 34.32 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุด ได้แก่ กรดโอเลอิก ซึ่งพบในปริมาณ 36.79 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันชนิดนี้เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะ คู่ 1 พันธะที่สามารถพบได้ทั่วไปในน้ำมันจากพืช (Murthi *et al.*, 1987) นอกจากนี้ในไขมันเมล็ด งายังพบกรดสเตียริก กรดลิโนเลนิก กรดปาล์มิติก และกรดลิโนเลอิกในปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย โดยพบในปริมาณ 7.03 ± 0.08 , 6.48 ± 0.03 , 4.69 ± 0.15 และ 1.37 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 16) เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดงาที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่ รายงานโดย Fuentes *et al.* (2010) พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดย Fuentes *et al.* (2010) รายงานว่า ไขมันเมล็ดงาประกอบด้วย กรดโอเลอิก กรดอะราคิติก กรด ปาล์มิติก กรดสเตียริก และกรดบีฮีนิก ในปริมาณ 40.3, 34.5, 6.1, 7.1 และ 2.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดงาที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณ แตกต่างจากค่าที่รายงานโดย Mohibbe *et al.* (2005) เล็กน้อย โดยรายงานว่าไขมันเมล็ดงา ประกอบด้วย กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดอะราคิติก และกรดอะโดเลอิก ใน ปริมาณ 2.0, 13.8, 45.3, 34.7 และ 4.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดงาและเนยโกโก้ พบว่าเนยโกโก้ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูงกว่าไขมันเมล็ดงา โดยมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูงถึง 62.53 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16) จึงอาจมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันที่สูงกว่าไขมันเมล็ดงา (Besbe *et al.*, 2004) กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ กรดสเตียริกและกรดปาล์มิติก ซึ่งพบในปริมาณ 35.62 ± 0.33 และ 25.06 ± 0.51 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16) ตามลำดับ ในขณะที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันเมล็ดงา คือ กรดอะราคิดิก ส่วนกรดสเตียริกและกรดปาล์มิติกจะพบในปริมาณที่ไม่มากนัก นอกจากนี้เมื่อพิจารณากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว พบว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเนยโกโก้ ได้แก่ กรดโอเลอิก เช่นเดียวกับในไขมันเมล็ดงา แต่อย่างไรก็ตามในเนยโกโก้พบกรดโอเลอิกในปริมาณที่ต่ำกว่าไขมันเมล็ดงา โดยพบในปริมาณ 29.07 ± 0.13 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16) เมื่อพิจารณาปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลมากกว่า 1 ตำแหน่ง พบว่าไขมันเมล็ดงามีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดดังกล่าวในปริมาณที่สูงกว่าเนยโกโก้ โดยพบกรดลิโนเลนิกซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นในปริมาณที่สูงกว่าเนยโกโก้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับไขมันหรือน้ำมันชนิดอื่น เช่น น้ำมันถั่วเหลือง พบว่าไขมันเมล็ดงามีกรดลิโนเลนิกในปริมาณที่ไม่สูงนัก โดยน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดลิโนเลนิกในปริมาณสูงถึง 44-62 เปอร์เซ็นต์ (Gunstone *et al.*, 1968)

6. สารประกอบสเตอรอล

สารประกอบไฟโตสเตอรอลในไขมันหรือน้ำมันสามารถใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการบ่งบอกถึงคุณภาพของไขมันหรือน้ำมันได้ (Artho *et al.*, 1993; Blas and Valle, 1996; Grob *et al.*, 1990) เนื่องจากสารประกอบไฟโตสเตอรอลเป็นองค์ประกอบของไขมันที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยสามารถลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในลำไส้เล็กส่งผลให้ระดับของคอเลสเตอรอลทั้งหมดและ LDL-cholesterol ในกระแสเลือดลดลงซึ่งสามารถลดอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดและเส้นเลือดหัวใจตีบตันได้ (Clifton, 2002; Du and Ahn, 2002; Piironen *et al.*, 2002; Hicks and Moreau, 2001; Toivo *et al.*, 2001; Maatta *et al.*, 1999) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของไฟโตสเตอรอล 3 ชนิดซึ่งพบมากในไขมันหรือน้ำมันจากพืช ได้แก่ β -Sitosterol, Stigmasterol และ Campesterol ในไขมันเมล็ดงา พบว่าไขมันเมล็ดงาประกอบด้วย β -Sitosterol และ Stigmasterol ในปริมาณ 0.614 ± 0.06 และ 0.317 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างไขมัน 1 กรัม (ตารางที่ 17) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบสเตอรอลในไขมันเมล็ดงากับไขมันหรือน้ำมันทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 3

พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีสารประกอบไฟโตสเตอรอลในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นไขมันเมล็ดเงาะจึงอาจไม่ใช่แหล่งสำคัญของสารประกอบไฟโตสเตอรอล

7. วิตามินอี

วิตามินอีเป็นวิตามินที่ละลายในไขมันซึ่งมีความสำคัญต่อคุณค่าทางโภชนาการและความคงตัวของไขมันหรือน้ำมัน (Ramadan *et al.*, 2006) คุณสมบัติที่สำคัญของวิตามินอี ได้แก่ การทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน จากรายงานพบว่าประชากรที่ได้รับวิตามินอีหรือสารต้านออกซิเดชันอื่นในปริมาณต่ำส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเป็น โรคมะเร็งและโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดเพิ่มขึ้น (Gey *et al.*, 1991; Rimm *et al.*, 1993) ดังนั้นจึงมีการแนะนำให้รับประทานอาหารที่มีสารต้านออกซิเดชันเป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้นเพื่อลดโอกาสเสี่ยงในการเป็นโรสดังกล่าว (Kallio *et al.*, 2002) นอกจากนี้คุณค่าทางโภชนาการของวิตามินอีแล้ววิตามินอีในไขมันและน้ำมันยังมีความสำคัญต่อการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในไขมันและน้ำมัน โดยเฉพาะการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (Saloua *et al.*, 2009; Ramadan *et al.*, 2006; Eldin and Adersson, 1997) วิตามินอีในรูป α -tocopherol จัดเป็นวิตามินอีในรูปที่มี biological activity สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิตามินอีในฟอร์มอื่นๆ (Saloua *et al.*, 2009; Ramadan *et al.*, 2006; Kallio *et al.*, 2002) จากการวิเคราะห์ปริมาณ α -tocopherol ในไขมันเมล็ดเงาะ พบว่าไขมันเมล็ดเงาะประกอบด้วย α -tocopherol ในปริมาณ 0.1026 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างไขมัน 100 กรัม (ตารางที่ 17) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ α -tocopherol ในไขมันเมล็ดเงาะกับไขมันหรือน้ำมันจากแหล่งอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมี α -tocopherol ในปริมาณน้อยมาก คือ 0.0001026 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมด ดังนั้นไขมันเมล็ดเงาะจึงอาจไม่ใช่แหล่งสำคัญของวิตามินอี

ตารางที่ 16 องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดเงาะและเนยโกโก้

Fatty acid Composition	Content (g/100g)	
	Rambutan seed fat	Cocoa butter
Saturated fatty acid	49.57 ± 0.14	62.53 ± 0.12
Myristic acid (C14:0)	0.02 ± 0.002	0.10 ± 0.01
Pentadecanoic acid (C15:0)	n.d.	0.03 ± 0.001
Palmitic acid (C16:0)	4.69 ± 0.15	25.06 ± 0.51
Heptadecanoic acid (C17:0)	n.d.	0.23 ± 0.002
Stearic acid (C18:0)	7.03 ± 0.08	35.62 ± 0.33
Arachidic acid (C20:0)	34.32 ± 0.01	1.14 ± 0.04
Heneicosanoic acid (C21:0)	0.05 ± 0.0005	0.01 ± 0.001
Behenic acid (C22:0)	3.1 ± 0.04	0.21 ± 0.01
Tricosanoic acid (C23:0)	0.03 ± 0.005	0.02 ± 0.002
Lignoceric acid (C24:0)	0.33 ± 0.06	0.12 ± 0.01
Monounsaturated fatty acid	37.97 ± 0.22	29.47 ± 0.13
Palmitoleic (C16:1 ω 7)	0.49 ± 0.04	0.23 ± 0.01
Trans-9-Elaidic acid (C18:1 ω 9t)	0.03 ± 0.001	0.12 ± 0.004
Cis-9-Oleic acid (C18:1 ω 9c)	36.79 ± 0.16	29.07 ± 0.13
Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1 ω 11)	n.d.	0.05 ± 0.001
Erucic acid (C22:1 ω 9)	0.66 ± 0.03	n.d.
Polyunsaturated fatty acid	7.89 ± 0.01	2.82 ± 0.003
Cis-9,12-Linoleic acid (C18:2 ω 6)	1.37 ± 0.02	2.64 ± 0.003
α -Linolenic acid (C18:3 ω 3)	6.48 ± 0.03	0.18 ± 0.0001
Cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	0.04 ± 0.004	n.d.

หมายเหตุ n.d. คือ ไม่พบกรดไขมันดังกล่าว

ตารางที่ 17 ปริมาณของสารประกอบสเตอรอลและวิตามินอี (α -tocopherol) ในไขมันเมล็ดเงาะ

Compound	Rambutan seed fat
Stigmasterol (mg/g)	0.317 \pm 0.03
β -Sitosterol (mg/g)	0.614 \pm 0.06
Campesterol (mg/g)	n.d.
Vitamin E (α -tocopherol; mg/100g)	0.1026 \pm 0.000495

หมายเหตุ n.d. คือ ไม่พบสารดังกล่าว

8. ความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน

จากการวิเคราะห์ความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมล็ดเงาะ โดยเครื่องวิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมันและไขมัน (743 Rancimat, Methrom) พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีระยะเวลาในการชักนำให้เกิดออกซิเดชัน (Oxidation induction time) เป็นระยะเวลา 3.93 ± 0.09 ชั่วโมง (ตารางที่ 11) เมื่อเปรียบเทียบกับไขมันหรือน้ำมันชนิดอื่น เช่น น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันหมู และน้ำมันมะกอกที่ใช้ในการบริโภค พบว่าไขมันเมล็ดเงาะมีระยะเวลาในการชักนำให้เกิดออกซิเดชันที่น้อยกว่าน้ำมันดังกล่าว โดยน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันหมู และน้ำมันมะกอกที่ใช้ในการบริโภคมีระยะเวลาในการชักนำให้เกิดออกซิเดชัน เท่ากับ 7.7, 10 และ 9-143 ชั่วโมง ตามลำดับ (Farag *et al.*, 2003; Dugan, 1976; Salvador *et al.*, 2001) ทั้งนี้เนื่องจากไขมันเมล็ดเงาะที่นำมาวิเคราะห์ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แตกต่างจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันหมู และน้ำมันมะกอกซึ่งผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วและมีการเติมสารต้านออกซิเดชันเข้าไปในน้ำมันด้วย ไขมันหรือน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์จะมีสารประกอบบางชนิดซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการสกัด เช่น กรดไขมันอิสระและสารให้กลิ่นจำพวก แอลดีไฮด์ คีโตนหรือแอลกอฮอล์ เป็นต้น (McClements and Decker, 2007) สารประกอบเหล่านี้อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันด้วยเทคนิค Rancimat ซึ่งอาศัยหลักการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำปราศจากไอออน โดยนำตัวอย่างน้ำมันหรือไขมันไปให้ความร้อนและออกซิเจนเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งสามารถระเหยได้จะถูกดักจับลงไปในน้ำปราศจากไอออนส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำปราศจากไอออนเปลี่ยนแปลงไป (Besbe *et al.*, 2004; Rouhou *et al.*, 2007) กรดไขมันอิสระและสารให้กลิ่นที่ปนอยู่ในไขมันเมล็ดเงาะที่ยังไม่ผ่าน

กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ซึ่งสามารถระเหยได้อาจถูกดักจับลงไปในน้ำปราศจากไอออนร่วมกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเกิดขึ้นในภายหลังส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำปราศจากไอออนเปลี่ยนแปลงไปเร็วกว่าที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตามเมื่อนำไขมันเมล็ดงาไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์อาจส่งผลให้ระยะเวลาในการชักนำให้เกิดออกซิเดชันสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติของไขมันเมล็ดงาประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูงจึงควรมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันสูงด้วย (Besbe *et al.*, 2004) นอกจากองค์ประกอบของไขมันซึ่งมีผลต่อความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันแล้ว สารต้านออกซิเดชันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงตัวเช่นกัน โดยปริมาณสารต้านออกซิเดชันในไขมันและน้ำมันมีความสัมพันธ์อย่างมากในเชิงบวกกับความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันซึ่งวิเคราะห์โดยเทคนิค Rancimat (Papadoupoulus and Boskow, 1991; Montedero *et al.*, 1993; Caponio *et al.*, 1999; Salvador *et al.*, 2001) แม้ว่าปริมาณสารต้านออกซิเดชันในไขมันหรือน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์จะมีปริมาณที่สูงกว่าไขมันที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วก็ตาม แต่ในกรณีของไขมันเมล็ดงาอาจมีสารต้านออกซิเดชัน เช่น α -tocopherol ในปริมาณที่น้อยมาก (ตารางที่ 17) จึงไม่แสดงอิทธิพลที่ชัดเจนต่อความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันเมลิคเงาะที่สกัดโดยชุดสกัดไขมัน พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ ได้แก่ ขนาดเมลิคเงาะ ความชื้นของเมลิคเงาะ และระยะเวลาในการสกัด โดยปัจจัยเหล่านี้มีระดับต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากเมลิคเงาะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันจากเมลิคเงาะ พบว่าเทคนิคพื้นผิวตอบสนองเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันจากเมลิคเงาะ นอกจากนี้สมการถดถอยที่ได้จากการศึกษายังสามารถนำไปใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์และใช้ในการทำนายปริมาณไขมันได้ดีอีกด้วยเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าสูง (0.97-0.98) ปริมาณสูงสุดของไขมันที่สกัดได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ คือ 37.25 และ 39.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สมการที่ได้จากการทดลองจะสามารถนำไปใช้ทำนายได้ดีเฉพาะในสภาวะและช่วงขอบเขตของปัจจัยเดียวกับที่ทำการศึกษานั้น เนื่องจากในกรณีที่น่าไปทำนายนอกเหนือจากขอบเขตและสภาวะที่ทำการศึกษานั้น แนวโน้มอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ อาจไม่เป็นเช่นนี้ก็ได้

3. การศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และสมบัติอื่นๆ ของไขมันเมลิคเงาะ พบว่า ไขมันเมลิคเงาะมีสมบัติที่โดดเด่น คือ เป็นไขมันจากพืชที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูง และกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว (Long chain fatty acid) ส่งผลให้ไขมันเมลิคเงาะมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการเกิดออกซิเดชันได้ดี นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไขมันยังแสดงให้เห็นว่าไขมันเมลิคเงาะประกอบด้วยผลึกในฟอร์มเบต้าเป็นส่วนใหญ่ จากสมบัติดังกล่าวอาจมีการนำไขมันเมลิคเงาะไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ เช่น ใช้เป็นสารกักเก็บความชุ่มชื้นในครีมบำรุงผิว หรือลิปสติก เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ เช่น ใช้ทดแทนหรือร่วมกับไขมันที่ต้องผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน เพื่อลดปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น การผลิตเนยขาวเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น แต่ทั้งนี้ในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และประเมินความสามารถในการบริโภคก่อน ทั้งยังอาจจะต้องมีการศึกษาสมบัติอื่นของไขมันเมลิคเงาะ เช่น โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ เพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการประเมินแนวทางการนำไขมันชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์เพิ่มเติม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. 2531. รายงานการศึกษาเรื่องเงาะ. กระทรวงพาณิชย์, กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนापนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- อนุวัตร แจ่มชัด. 2549. สถิติสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Abdalla, A.E., S.M. Darwish, E.H. Ayad and R.M. Hamahmy. 2007. Egyptian mango by-product 1. Compositional quality of mango seed kernel. **Food Chemistry** 103(4): 1134-1140.
- Abdulkarim, S.M., K. Long, O.M. Lai, S.K. Muhammad and H.M. Ghazali. 2005. Some physico-chemical properties of *Moringa oleifera* seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. **Food Chemistry** 93: 253-263.
- Abraham, G. and R.J. Hron. 1992. Oilseeds and their oils, pp. 1901-1910. In Y.H. Hui, ed. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Amarasinghe, B.M. and N.C. Gangodavilage. 2004. Rice bran oil extraction in Sri Lanka data for process equipment design. **Trans IchemE**. 82(1): 54-59.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- AOCS. 1997. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.

- Artho, G., K. Grob and C. Marianai. 1993. On-line LC-GC for the analysis of the minor components in edible oils and fats-the direct method involving silylation. **Fat Science Technology** 95: 176-180.
- Augustin, M.A. and B.C. Chua. 1988. Composition of Rambutan seeds. **Pertanika**. 11(2): 211-215.
- Besbe, S., C. Blecker, C. Deroanne, N.E. Drira and H. Attia. 2004. Date seeds: chemical composition and characteristic profiles of the lipid fraction. **Food Chemistry** 84: 577-584.
- Blas, O.J. and G.A. Valle. 1996. Determination of sterols by capillary column gas chromatography. Differentiation among different types of olive oil: virgin, refined and solvent extracted. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 73: 1685-1689.
- Bockisch, M. 1998. **Fats and Oils Handbook**. AOCA Press, Nahrungsfette und Ole.
- Bot, A., E. Floter, J.G. Lammers and E. Pelan. 2003. Controlling the texture of spreads, pp. 350-372. In B.M. McKenna, ed. **Texture in Foods, Volume 1: Semi-Solid Foods**. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Bravoda, V., F. Smid, J. Ledvinova, C. Michalec. 1990. Improved one-dimensional thin-layer chromatography for the separation of phospholipids in biological material. **Journal of Chromatography** 533: 297-299.
- Cacace, J.E. and G. Mazza. 2003. Optimization of extraction of anthocyanins from black currents with aqueous ethanol. **Journal of Food Science** 68: 240-248.
- Caponio, F., V. Alloggio and T. Gomes. 1999. Phenolic compounds of virgin olive oil: influence of paste preparation techniques. **Food Chemistry** 64: 203-209.

- Christensen, P.L. 1983. Solvent extraction: Recent developments. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 60(2): 214-215.
- Clifton, P. 2002. Plant sterol and stanols--comparison and contrasts. Sterols versus stanols in cholesterol-lowering: is there a difference. **Atherosclerosis Supplements** 3(3): 5-9.
- Colmenero, F.J., G. Barreto, N. Mota and J. Carbolla. 1995. Influence of protein and fat content and cooking temperature on texture and sensory evaluation of bologna sausage. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie** 28: 481-487.
- Czerniak, A.S., G. Karlovits, M. Lach and E. Szlyk. 2005. X-ray diffraction and differential scanning calorimetry studies of $\beta \rightarrow \beta'$ transitions in fat mixtures. **Food Chemistry** 92: 133-141.
- Decker, E.A. 1996. The role of stereospecific saturated fatty acid position on lipid nutrition. **Nutrition Reviews** 54: 108-110.
- Dosunmu, M.I. and C. Ochu. 1995. Physicochemical properties and fatty acid composition of lipids extracted from Nigeria fruits and seeds. **Global Journal of Pure Applied Science** 1: 45-50.
- Du, M. and D.U. Ahn. 2002. Simultaneous analysis of tocopherols, cholesterol, and phytosterols using gas chromatography. **Journal of Food Science** 67(5): 1696-1700.
- Dugan, L. 1976. Lipids, pp. 139-203. In O.R. Fennema, ed. **Principals of Food Science**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Dutton, H.J. 1979. Hydrogenation of fats and its significance, pp. 1-16. In E.A. Emken and H.J. Dutton, eds. **Geometrical and Positional Fatty Acid Isomers**. Association of Official Analytical Chemists, Champaign, IL.

- Eldin, A.K. and R. Andersson. 1997. A multivariate study of the correlation between tocopherol content and fatty acid composition in vegetable oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 74: 375-380.
- Frag, R.S., G.S. Baroty and A.M. Basumy. 2003. The influence of phenolic extracts obtained from the olive plant (CVF. Picual and Kronatii) on the stability of sunflower oil. **International Journal of Food Science and Technology** 38: 81-87.
- Franco, D., M. Pinelo, J. Sineiro and M. Jose Nunez. 2007. Processing of *Rosa rubiginosa*: Extraction of oil and antioxidant substances. **Bioresource Technology** 98: 3506-3512.
- Fried, B. 1996. Lipids, pp. 683-714. In J. Sherma and B. Fried, eds. **Handbook of Thin Layer Chromatography**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Fuentes, J.A., G.C. Ortiz, M.R. Medel, F.P. Mendoza and C.D. Bazua. 2010. Composition, phase behavior and thermal stability of natural edible fat from rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) seed. **Bioresource Technology** 101: 799-803.
- Gallagher, E., C.M. Brien, A.G. Scannell and E.K. Arendt. 2003. Use of response surface methodology to produce functional short dough biscuits. **Journal of Food Engineering** 56: 269-271.
- Gan, H.E., R. Karim, S.K. Muhammad, J.A. Bakar, D.M. Hashim and Rahman R.A. 2007. Optimization of the basic formulation of traditional baked cassava cake using response surface methodology. **LWT-FoodScienceandTechnology** 40: 611-618.
- Georgi, C.D. 1922. Some Malayan vegetable oils and fats of minor importance. **Malayan Agricultural Journal** 10: 222-227.

- Gey, K.F., P. Puska, P. Jordan and U.K. Moser. 1991. Inverse correlation between plasma vitamin E and mortality from ischemic heart disease in cross-cultural epidemiology. **American Journal of Clinical Nutrition** 53: 3245-3265.
- Ghotra, B.S., S.D. Dyal and S.S. Narine. 2002. Lipid shortenings: a review. **Food Research International** 35: 1015-1048.
- Giannelos, P.N., S. Sxizas, E. Lois, F. Zannikos and G. Anastopoulos. 2005. Physical, chemical and fuel related properties of tomato seed oil for evaluating its direct use in diesel engines. **Industrial Crops and Products** 22: 193-199.
- Goa, L. and G. Mazza. 1996. Extraction of anthocyanin pigments from purple sunflowers hulls. **Journal of Food Science** 61: 600-603.
- Grob, K., M. Laufranchi and C. Mariani. 1990. Evaluation of olive oils through the fatty alcohols, the sterols and their esters by coupled LC-GC. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 67: 626-634.
- Gunstone, F.D., J.L. Harwood and F.B. Padley. 1986. **The Lipid Handbook**. Chapman and Hall, New York.
- Halbault, L., C. Barbe, M. Aroztegui and C. Delatorre. 1997. Oxidative stability of semi-solid excipient mixtures with corn oil and its implication in the degradation of vitamin A. **International Journal of Pharmaceutics** 147: 31-41.
- Hartel, R.W. 2001. **Crystallization in Foods**. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, MD.
- Herrera, M.L. and M.C. Anon. 1991. Crystalline fractionation of hydrogenated sunflowerseed oil. Differential scanning calorimetry (DSC). **Journal of the American Oil Chemists' Society** 68: 799-803.

- Herrero, M., P.J. Martinalvarez, F.J. Senorans, A. Cifuentes and E. Ibanez. 2005. Optimization of accelerated solvent extraction of antioxidants from *Spirulina platensis* microalga. **Food Chemistry** 93: 417-423.
- Hicks, K.B. and R.A. Moreau. 2001. Phytosterols and phytostanols: functional food cholesterol busters. **Food Technology** 55(1): 63-67.
- Hsu, S.Y. and S.H. Yu. 2002. Comparisons on 11 plant oil fat substitute for low-fat kung-wans. **Journal of Food Engineering** 51: 215-220
- Hu, R. 1999. **Food Product Design A Computer-Aided Statistical Approach**. CRC Press, New York.
- Jamieson, G.S. 1943. **Vegetable Fats and Oils**. Reinhold, New York.
- Kallio, H., B. Yang, P. Peippo, R. Tahvonen and R. Pan. 2002. Triacylglycerols, glycerophospholipids, tocopherols and tocotrienols in berries and seeds of two subspecies (spp. *sinensis* and *mongolica*) of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50: 3004-3009.
- Keefee, S.F. 2002. Nomenclature and classification of lipids, pp. 1-40. In C.C. Akoh and D.B. Min, eds. **Food Lipids, Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Larsson, K. 1966. Classification of glyceride crystal forms. **Acta Chemica Scandinavica** 20: 2255-2260.
- Lee, W.C., S. Yusof, N.S. Hamid and B.S. Baharin. 2006. Optimizing conditions for hot water extraction of banana juice using response surface methodology (RSM). **Journal of Food Engineering** 75: 473-479.

- Liaset, B., K. Julshamn and M. Espe. 2003. Chemical composition and nutritional evaluation of the produced fractions from enzymic hydrolysis of salmon frames with ProtamexTM. **Process Biochemistry** 38: 1747-1759.
- Maatta, K., A.M. Lampi, J. Petterson, B.M. Fogelfors, V. Piironen and A. Kamel-Eldin. 1999. Phytosterol content in seven oat cultivars grown at three locations in Sweden. **Journal of the Science of Food and Agricultural** 79: 1021-1027.
- Mahatta, T.L. n.d. **Technology and Refining of Oils and Fats (Production and Processing of Oils and Fats)**. Small Business Pub., New Delhi.
- Maisuthisakul, P., M. Suttajit and R. Pongsawatmanit. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. **Food Chemistry** 100:1409-1418.
- Maisuthisakul P., S. Pasuk and P. Ritthiruandej. 2008. Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. **Journal of Food Composition and Analysis** 21: 229-240.
- Mangold, H.K. 1969. Aliphatic lipids, pp. 363-421. In E. Stahl, ed. **Thin Layer Chromatography**. 2nd ed. Springer Verlage, New York.
- Mangold, H.K. and D.C. Malins. 1960. Fractionation of fats, oils, and waxes on thin layers of silicic acid. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 37: 383-385.
- Mani, S., S. Jaya and R.Vadivambal. 2007. Optimization of solvent extraction of Moringa (*Moringa oleifera*) seed kernel oil using response surface methodology. **Trans IchemE**. 85(4): 328-335.

- Martinez, D.P., C.A. Salas, M.C. Alonso, E.D. Alvarado and J.F. Torovazquez. 2007. The cooling rate effect on the microstructure and rheological properties of blends of cocoa butter with vegetable oils. **Food Research International** 40: 47-62.
- McClements, D.J. and E.A. Decker. 2007. Lipids, pp. 155-216. In S. Damodaran, K.L. Parkin and O.R. Fennema, eds. **Food Chemistry**. 4th ed. CRC Press, London.
- Mohibbe, M., A. Waris, N.M. Nahar. 2005. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. **Biomass and Bioenergy** 29: 293-302.
- Montedoro, G., M. Servilli, M. Baldioli, R. Selvaggini, E. Miniati and A. Macchioni. 1993. Simple and hydrolysable compounds in virgin olive oil. Spectroscopic characterizations of the secoiridoid derivatives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 41: 2228-2234.
- Moreau, R.A., B.D. Whitaker and K.B. Hicks. 2002. Review phytosterols, phytostanols and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses. **Progress Lipid Research** 41: 457-500.
- Mowlah, G., N.M. Sheikh and A.S. Kamal. 1990. **A Hand Book on Edible Oil and Fats**. The City Press, Bangladesh.
- Oates, C. G. and A. D. Powell. 1996. Bioavailability of carbohydrate material stored in tropical fruit seeds. **Food Chemistry** 56(4): 405-414.
- Olsen, R.E. and R.J. Henderson. 1989. The rapid analysis of neutral and polar marine lipids using double-development HPTLC and scanning densitometry. **Journal of Experimental Marine Biology and** 129: 189-197.

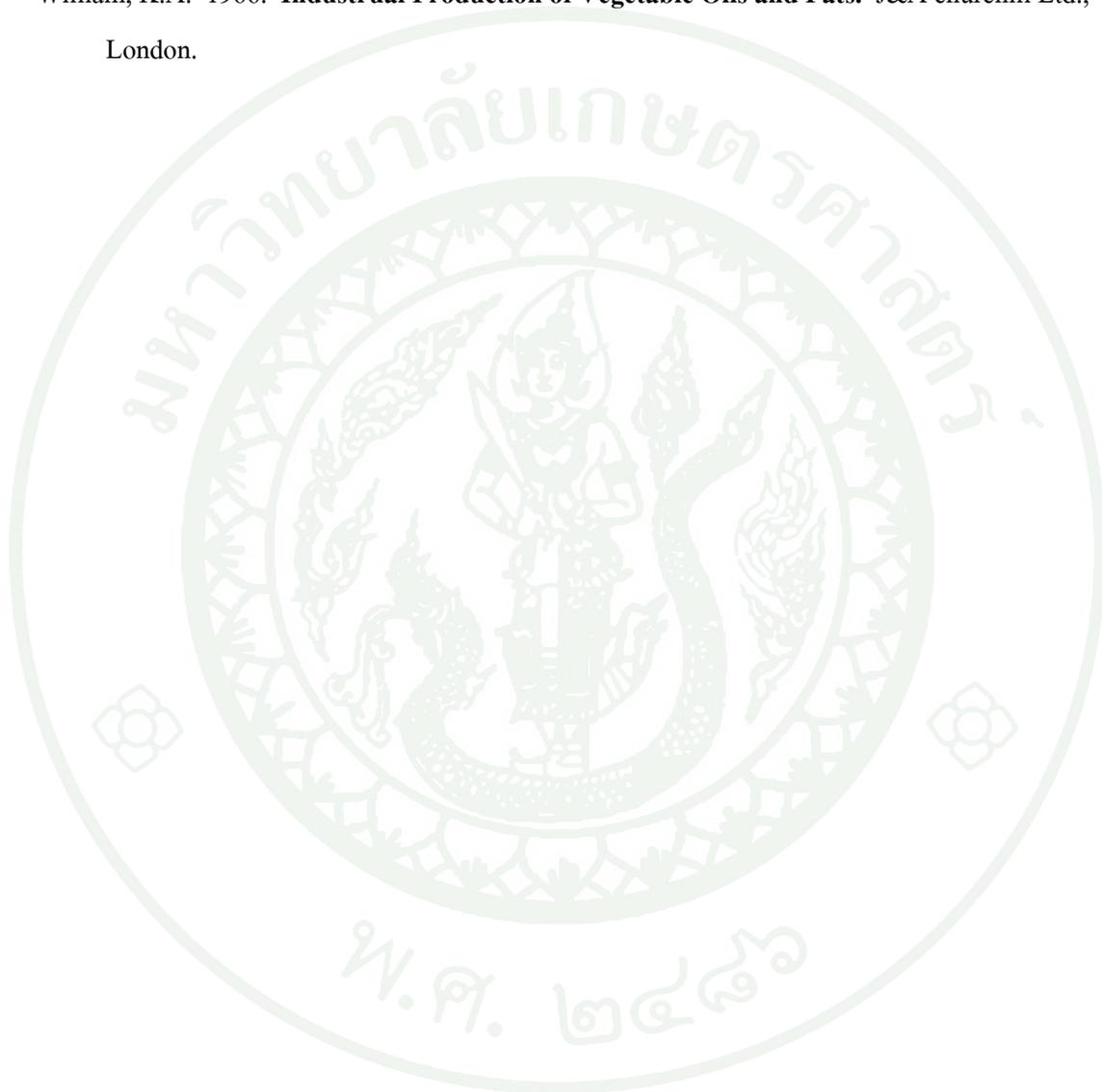
- Onyieke, E.N., G.N. Acheru. 2002. Chemical composition of selected Nigerian oil seeds and physiochemical properties of the oil extracts. **Food Chemistry** 77: 431-437
- Palanisamy U., C. H. Ming, T. Masilamani, T. Subramaniam, L. L. Teng and A. K. Radhakrishnan. 2008 Rind of the rambutan, *Nephelium lappaceum*, a potential source of natural antioxidants. **Food Chemistry** 109: 54-63.
- Papadopoulus, G. and D. Boskow. 1991. Antioxidant effect of natural phenols on olive oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 68: 669-671.
- Parish, E.J., T.L. Boos and S. Li. 2002. The chemistry of waxes and sterol, pp. 104-132. In C.C. Akoh and D.B. Min, eds. **Food Lipids, Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Piironen, V., J. Toivo and A.M. Lampi. 2002. Plant sterols in cereals and cereal products. **Cereal Chemistry** 79(1): 148-154.
- Pritchard, J.L. 1991. Analysis and properties of oil seeds, pp. 305-308. In J.B. Rossel and J.L. Pritchard, eds. **Analysis of Oil Seeds, Fats and Fatty Foods**. Elsevier Science, Oxford.
- Ramadan, M.F., G. Sharanabasappa, Y.N. Seetharam, M. Seshagiri and J.T. Moersel. 2006. Characterisation of fatty acids and bioactive compounds of kachnar (*Buahinia purpurea* L.) seed oil. **Food Chemistry** 98: 359-365.
- Reshma, M.V., S.S. Saritha, C. Balachandran and C. Arumugan. 2008. Lipase catalyzed interesterification of palm stearin and rice bran oil blends for preparation of zero trans shortening with bioactive phytochemicals. **Bioresource Technology** 99: 5011-5019.

- Rimm, E.B., M.J. Stampfer, A. Ascherio, E. Giovannucci, G.A. Colditz and W.C. Willett. 1993. Vitamin E consumption and the risk of coronary heart disease in men. **The New England Journal of Medicine** 328: 1450-1456.
- Rouhou, S., S. Besbes, B. Hentati, C. Blecker, C. Deroanne, H. Attai. 2007. *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physiochemical characteristics of lipid fraction. **Food Chemistry** 101: 673-681.
- Saloua, F., N.I. Eddine and Z. Hedi. 2009. Chemical composition and profile characteristics of Osage orange *Maclura pomifera* (Rafin.) Schneider seed and seed oil. **Industrial Crops and Products** 29: 1-8.
- Salvador, M.D., F. Aranda, S.G. Alonso and G. Fregapane. 2001. Cornicabra virgin olive oil: a study of five crop seasons. Composition, quality and oxidative stability. **Food Chemistry** 74: 267-274.
- Sandoval A.J. and J.A. Barreiro. 2007. Off-line capillary rheometry of corn starch: Effects of temperature, moisture content and shear rate. **LWT-FoodScienceandTechnology** 40: 43-48.
- Schwartz, H., V. Ollilainen, V. Piironen and A.M. Lampi. 2008. Tocopherol, tocotrienol and plant sterol contents of vegetable oils and industrial fats. **Journal of Food Composition and Analysis** 21: 152-161.
- Shahidi, F. and P.K. Wanasundara. 2002. Extraction and analysis of lipids, pp.133-168. In C.C. Akoh and D.B. Min, eds. **Food Lipids, Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Sikorski, Z.E. and A. Kolakowska. 2003. **Chemical and Functional Properties of Food Lipids**. N.W. Corporate Blvd., New York.

- Simopoulos, A.P. 1996. Trans fatty acids, pp. 91-99. In G.A. Spiller, ed. **Handbook of Lipid in Human Nutrition**. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sims, R., J. Fioriti and M. Kanuk. 1972. Sterol additives as polymerization inhibitors for frying oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 49: 298-301.
- Storry, J.E. and B. Tuckley. 1967. Thin-layer chromatography of plasma lipids by single development. **Lipids** 2: 501-502.
- Swern, D. 1982. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 4th ed. John Wiley and Sons, New York.
- Tatum, V. and C.K. Chow. 1992. Effects of processing and storage on fatty acids, pp. 337-351. In C.K. Chow, ed. **Fatty Acids in Food and Their Health Implications**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Thakur, S. and D.C. Saxena. 2000. Formulation of extruded snack food (gum based cereal-pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie** 33: 354-361.
- Thitilertdecha, N., A. Teerawutgulrag, N. Rakariyatham. 2008. Antioxidant and antibacterial activities of *Nephelium lappaceum* L. extracts. **LWT-Food Science and Technology** 41: 2029-2035.
- Tindall, H.D. 1994. **Rambutan Cultivation**. Food and agricultural organization of the United Nation, United Kingdom.
- Toivo, J. K. Phillips, A.M. Lampi and V. Piironen. 2001. Determination of sterols in foods: recovery of free, esterified, and glycosidic sterols. **Journal of Food Composition and Analysis** 14: 631-643.

Wettasinghe, M. and F. Shahidi. 1999. Evening primrose meal: A source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 47: 1801-1802.

William, K.A. 1966. **Industrial Production of Vegetable Oils and Fats**. J&A churchill Ltd., London.

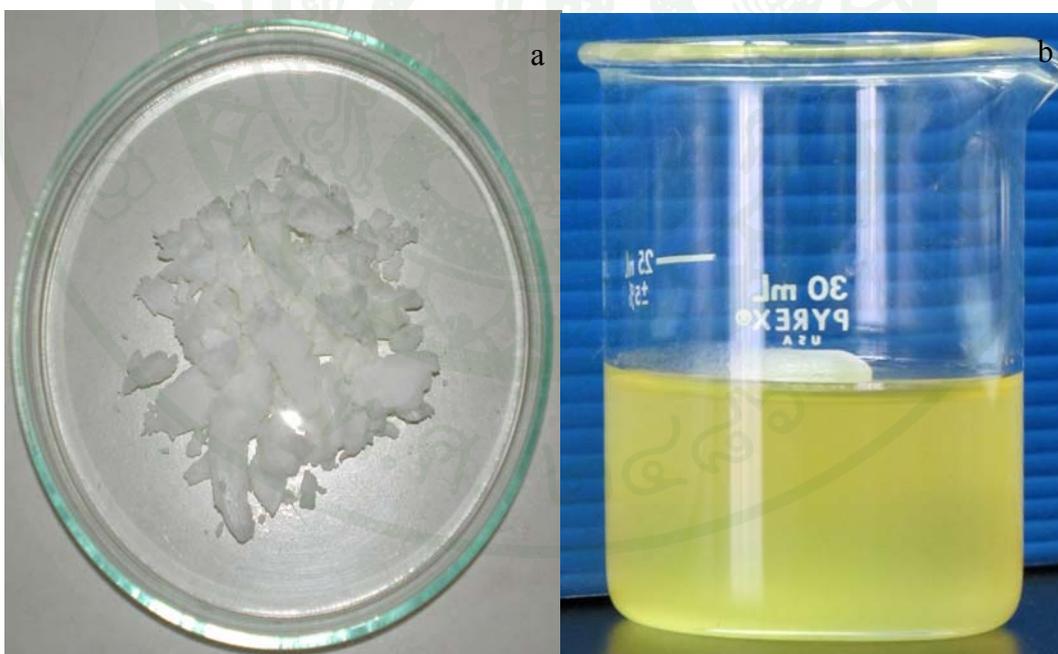








ภาพผนวกที่ ก1 เมล็ดเงาะที่ใช้ในการสกัดไขมันภายหลังการทำความสะดวก ก่อน (a) และหลัง (b) การแกะเปลือกหุ้มเมล็ด



ภาพผนวกที่ ก2 ไขมันเมล็ดเงาะก่อน (a) และหลัง (b) การหลอมละลาย



1. การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine number) ตามวิธีการของ AOCS (1997) ดังนี้

นำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรอง แล้วชั่งไขมันซึ่งผ่านการกรองแล้วประมาณ 1 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมโซลเฮกเซน : กรดแอซิดิก (1:1 โดยปริมาตร) 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างและสารละลายให้เข้ากันดี ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจางลง เติมสารละลายน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก 2 มิลลิลิตร ไตเตรตต่อจนสีน้ำเงินหมดไป บันทึกปริมาณโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต ทำการวิเคราะห์แบบลงค์ควบคู่กับตัวอย่าง คำนวณค่าไอโอดีน ดังนี้

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(B - A) \times N \times 12.69}{M}$$

- เมื่อ B คือ ปริมาณโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)
 A คือ ปริมาณโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 N คือ ความเข้มข้นของโซเดียมโซอซัลเฟต (นอร์มัล)
 M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

2. การวิเคราะห์ค่าสaponification number (Saponification number) ตามวิธีการของ AOCS (1997) ดังนี้

นำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรอง แล้วชั่งไขมันซึ่งผ่านการกรองแล้วประมาณ 2 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร รีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินดิเคเตอร์ 1 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มัล จนสีชมพูจางหายไป บันทึกปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต ทำการวิเคราะห์แบบลงค์ควบคู่กับตัวอย่าง คำนวณค่าสaponification number ดังนี้

$$\text{ค่าสปอนิฟิเคชัน} = \frac{(B - A) \times N}{M} \times 56.1$$

- เมื่อ B คือ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)
 A คือ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)
 M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารที่สปอนิไฟต์ไม่ได้ (Unsaponifiable matter) ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังนี้

ชั่งไขมันประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดทรงกลม เดิม เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 25 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก 1.5 มิลลิลิตร รีฟลักซ์เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วถ่ายของเหลวใส่ลงในกรวยแยก ล้างขวดทรงกลมด้วยน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร รวมลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติม ไดเอทิลอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าอย่างแรง ตั้งกรวยแยกให้ตรงจนของเหลวแยกออกเป็น 2 ชั้นเห็นได้ชัดเจน แยกของเหลวส่วนล่างออก (สารที่ทำปฏิกิริยากับด่าง) แล้วเทส่วนบนที่เป็น สารละลายไดเอทิลอีเทอร์ออกทางปากขวด ใส่ลงในกรวยแยกที่สองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกเป็นสองชั้น แยกส่วนที่เป็นน้ำชั้นล่างออกทิ้ง ล้าง สารละลายอีเทอร์อีกครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ทำเช่นนี้ สลับกัน 2 ครั้ง สุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ใช้ล้างไม่เกิดสีชมพูกับสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินดิ เคเตอร์ เทสารละลายอีเทอร์ออกจากขวดกรวยแยกใส่ลงในขวดแก้วที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ล้างกรวยแยก ด้วยไดเอทิลอีเทอร์ใส่รวมในขวดแก้ว ระเหยไดเอทิลอีเทอร์จนเหลือเล็กน้อย เดิมอะซีโตน 2-3 มิลลิลิตร ใส่สารที่ระเหยได้ออกไปให้หมด นำขวดแก้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับด่างมีน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนัก คำนวณปริมาณสารที่สปอนิไฟต์ไม่ได้ ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณสารที่สปอนิไฟด์ไม่ได้} = \frac{100 \times A}{M}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับด่าง (กรัม)
M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

4. การวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังนี้

ชั่งน้ำหนักขวดหาความถ่วงจำเพาะ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นเติมน้ำลงในขวดหาความถ่วงจำเพาะจนถึงขีดปริมาตร แล้วจุ่มลงในอ่างน้ำ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาเช็ดขวดให้แห้งสนิทแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยใช้ไขมันที่ละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และผ่านการกรองแล้วแทนน้ำ คำนวณความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนี้

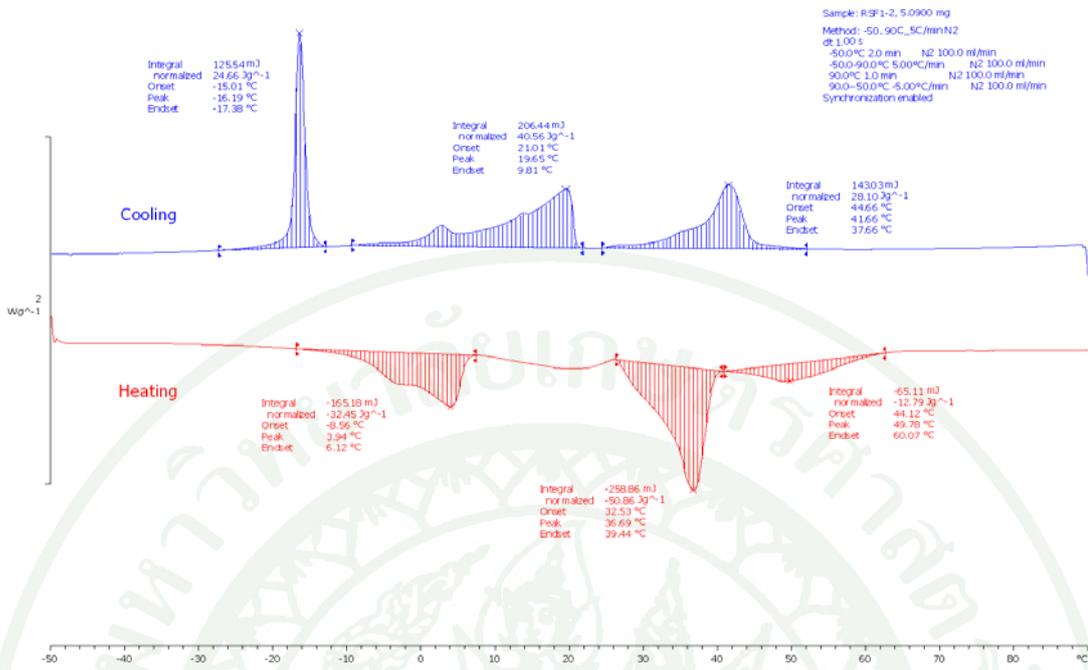
$$\text{ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส} = A + 0.00068(T-25)$$

เมื่อ A คือ ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิใดๆ ซึ่งคำนวณจากน้ำหนักน้ำมันหารด้วยน้ำหนักน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน
T คือ อุณหภูมิใดๆ ในที่นี้คือ 60 องศาเซลเซียส

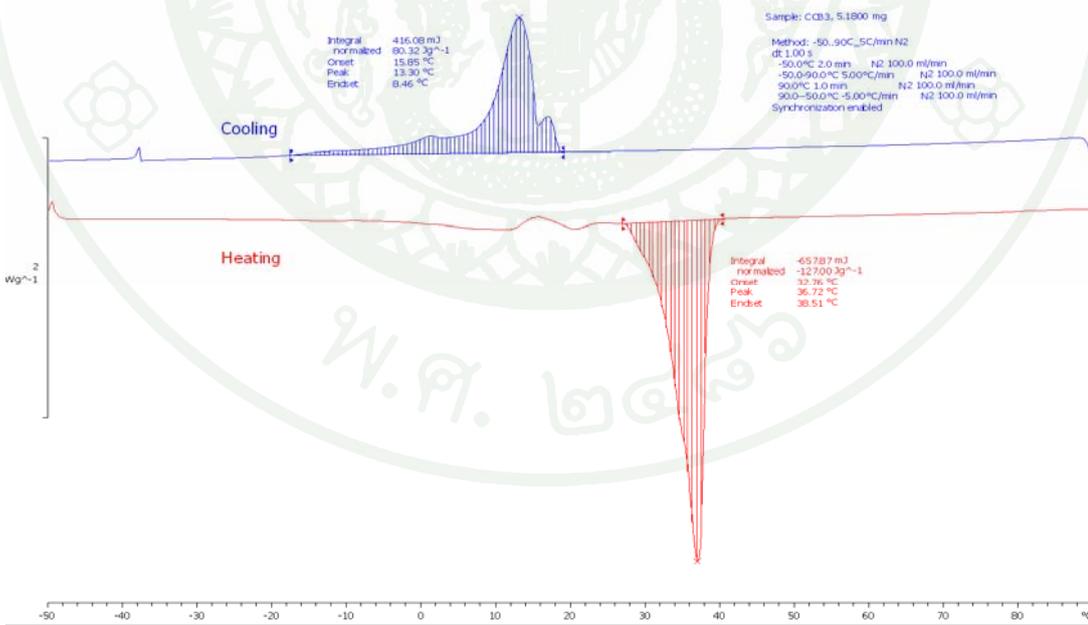
5. การวิเคราะห์การหักเหแสง (Refractive index) ตามวิธีการของ AOCS (1997) ดังนี้

นำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นหยดตัวอย่างลงบนปริซึมของรีแฟรคโตมิเตอร์ให้ตัวอย่างกระจายทั่วปริซึม ปิดฝาครอบ แล้วอ่านค่าการหักเหแสง

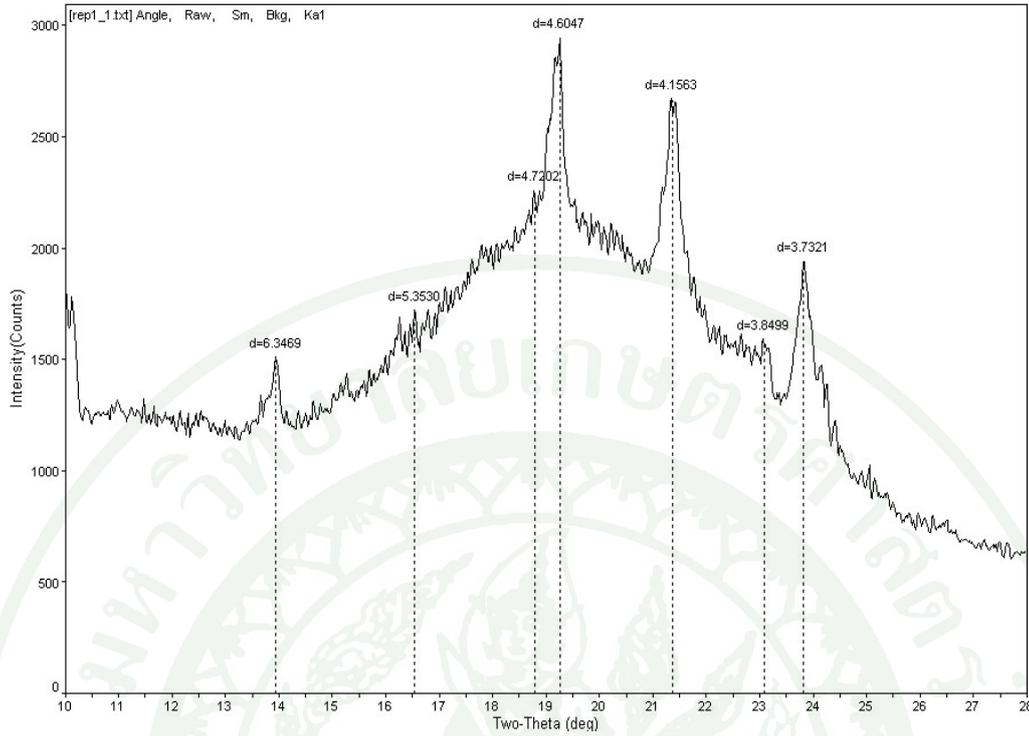




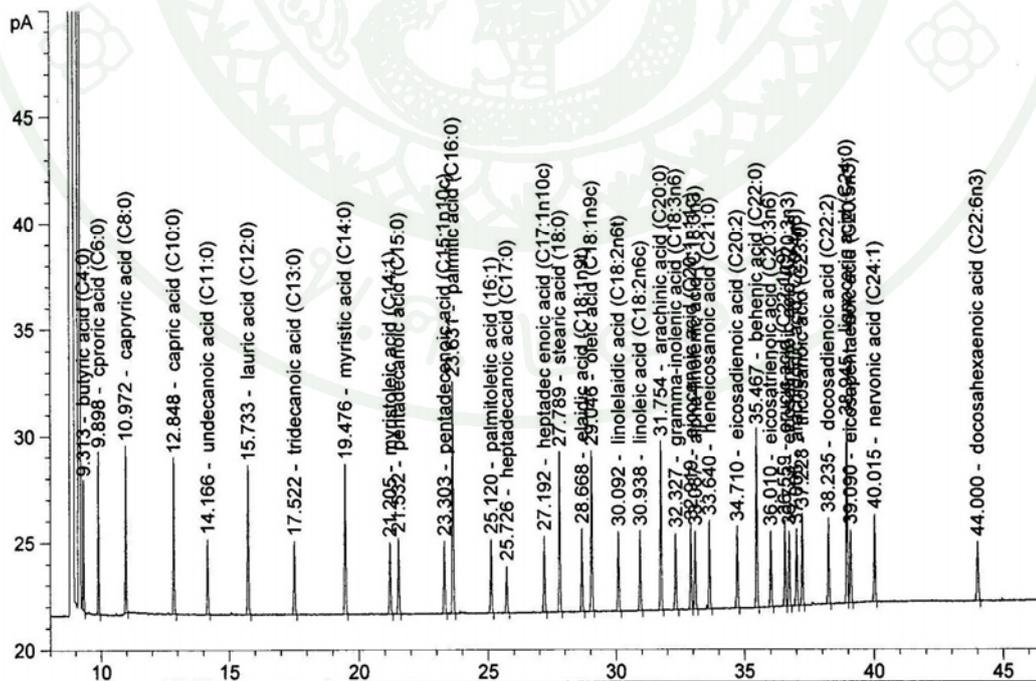
ภาพผนวกที่ ค1 เทอร์โมแกรมการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของไขมันเมล็ดเงาะ



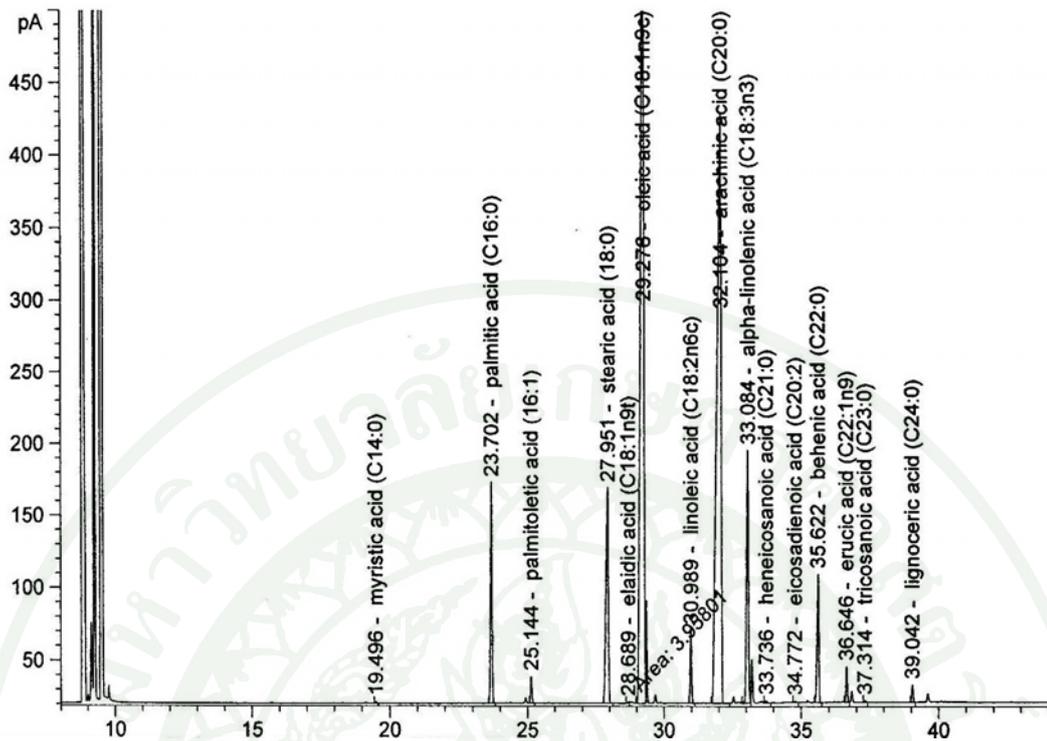
ภาพผนวกที่ ค2 เทอร์โมแกรมการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของเนยโกโก้



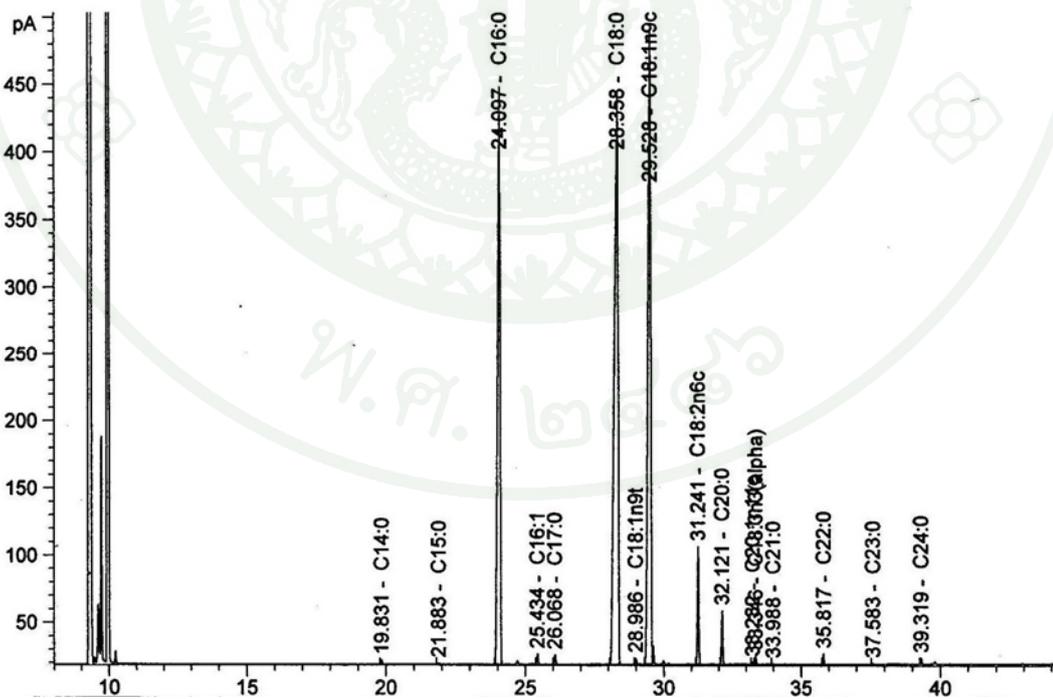
ภาพผนวกที่ 3 สัญญาณการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกไขมันเมล็ดเงาะ



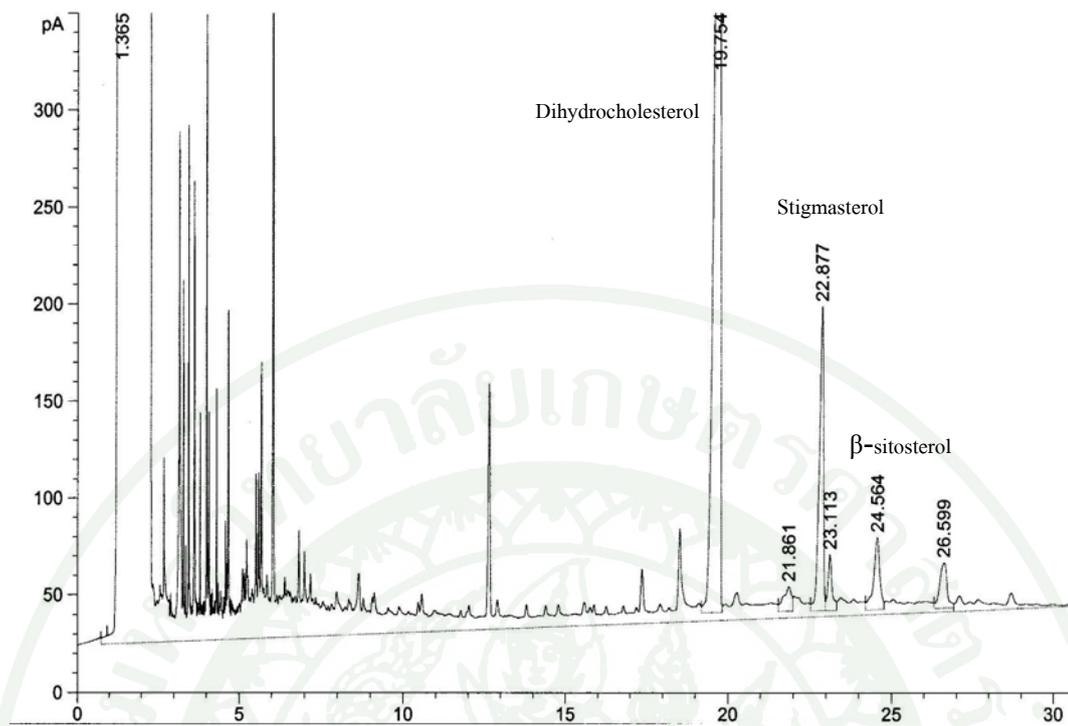
ภาพผนวกที่ 4 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดไขมัน



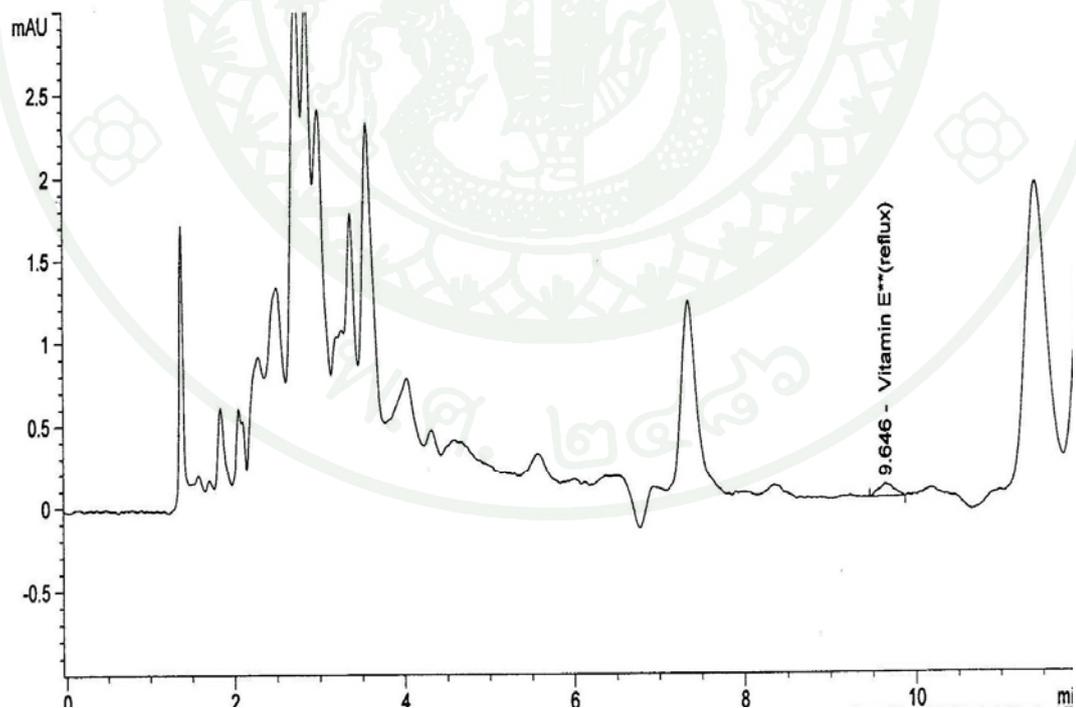
ภาพผนวกที่ ค5 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่พบในไขมันเมล็ดเงาะ



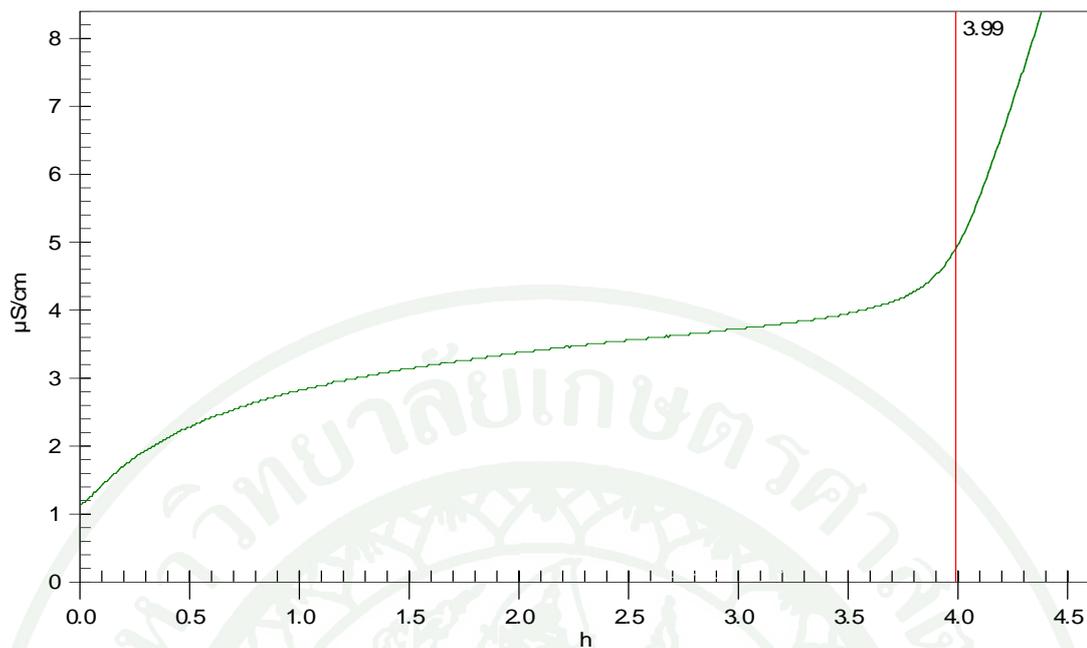
ภาพผนวกที่ ค6 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่พบในเนยโกโก้



ภาพผนวกที่ ค7 โครมาโตแกรมของสารประกอบสเตอรอลที่พบในไขมันเมล็ดเงาะ



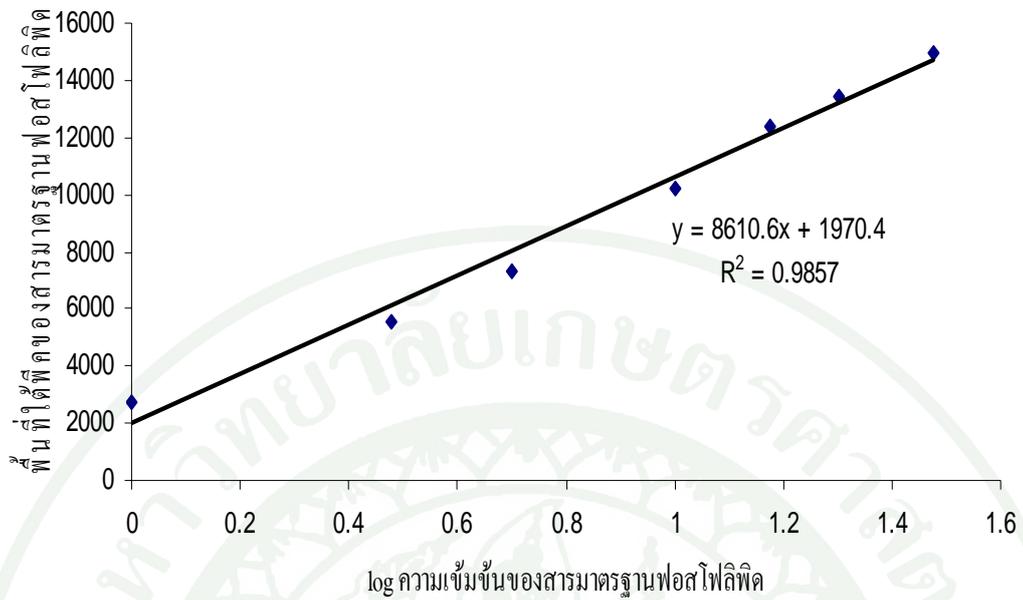
ภาพผนวกที่ ค8 โครมาโตแกรมของอัลฟาโทโคฟีรอลที่พบในไขมันเมล็ดเงาะ



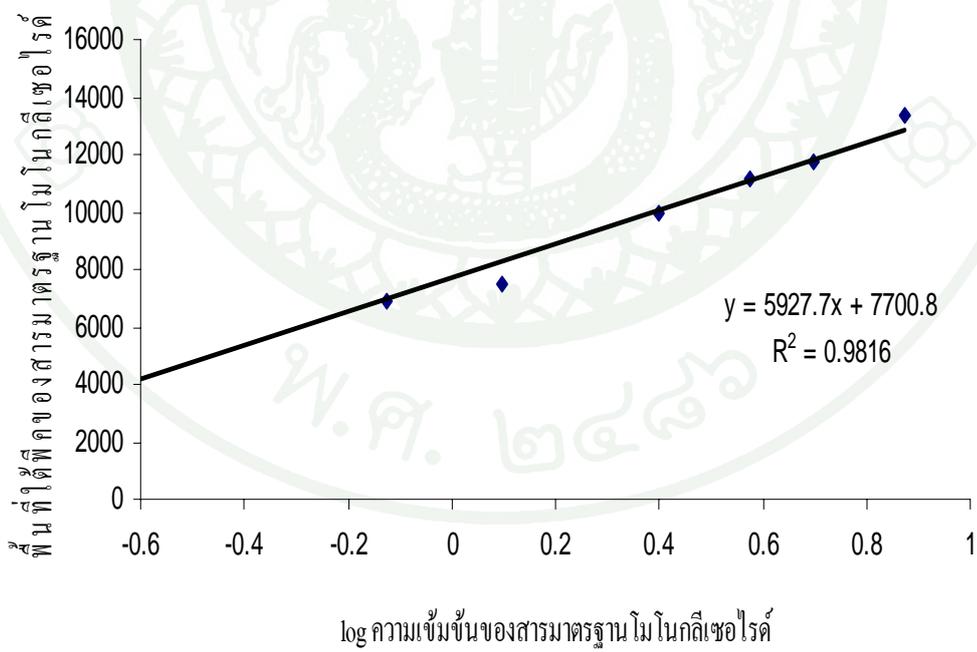
ภาพผนวกที่ ๙ กราฟการนำไฟฟ้าของน้ำปราศจากไอออนซึ่งแสดงถึงระยะเวลาในการชักนำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันเมล็ดงา



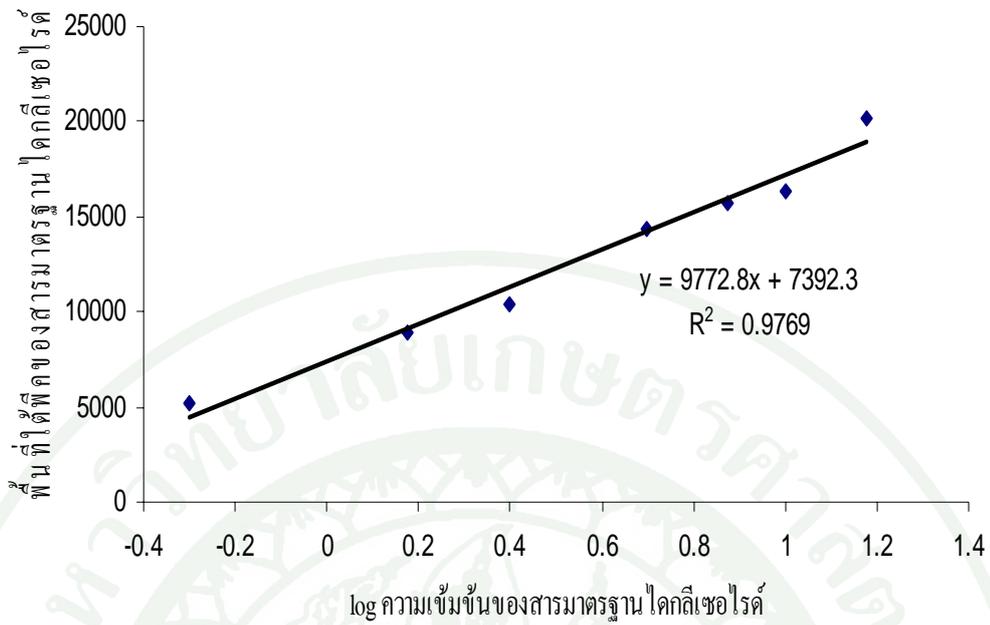
ภาพผนวกที่ ๑๐ การแยกองค์ประกอบของไขมันเมล็ดงาโดยเทคนิค HPTLC โดยคอลัมน์ที่ 1-3 (จากซ้ายไปขวา) คือสารมาตรฐานผสม (ฟอสโฟลิพิด โมโน-ได- กลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ และไตรกลีเซอไรด์ (จากล่างขึ้นบน) ตามลำดับ) คอลัมน์ที่ 4-6 (จากซ้ายไปขวา) คือ ตัวอย่างไขมันเมล็ดงา



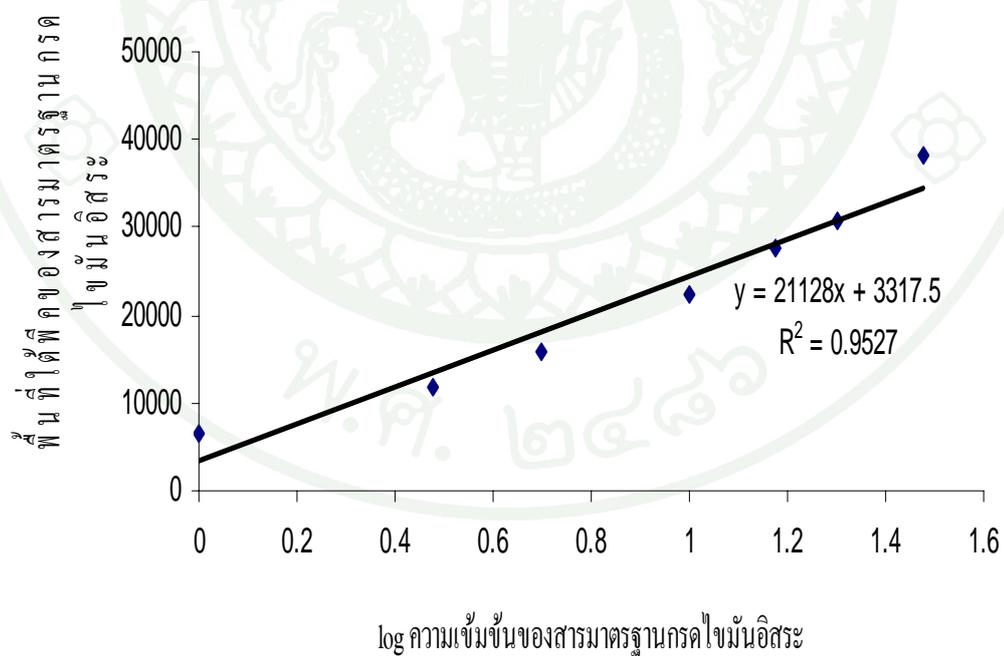
ภาพผนวกที่ 11 กราฟมาตรฐานของฟอสโฟลิพิด์



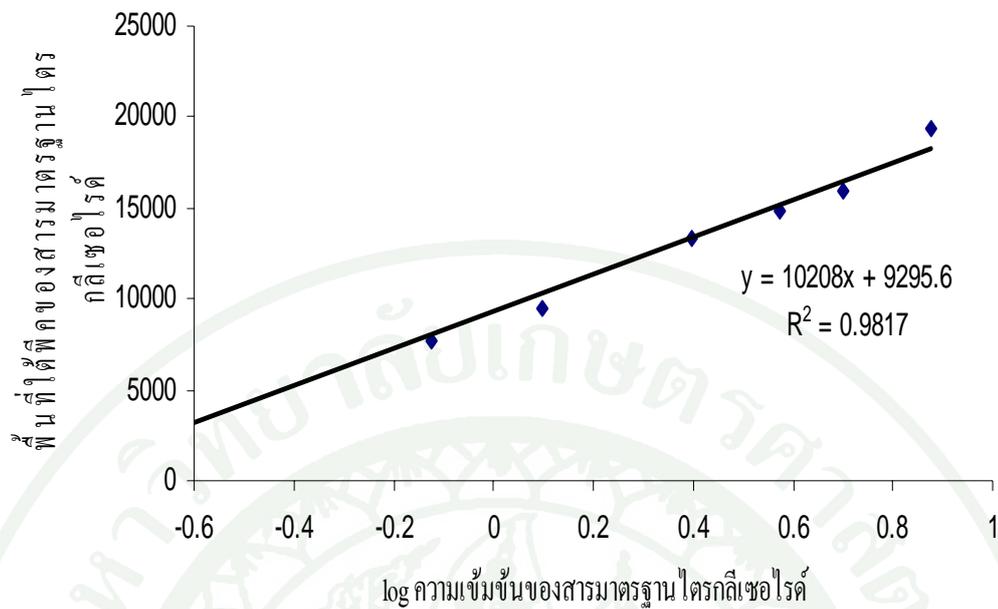
ภาพผนวกที่ 12 กราฟมาตรฐานของโมโนกลีเซอไรด์



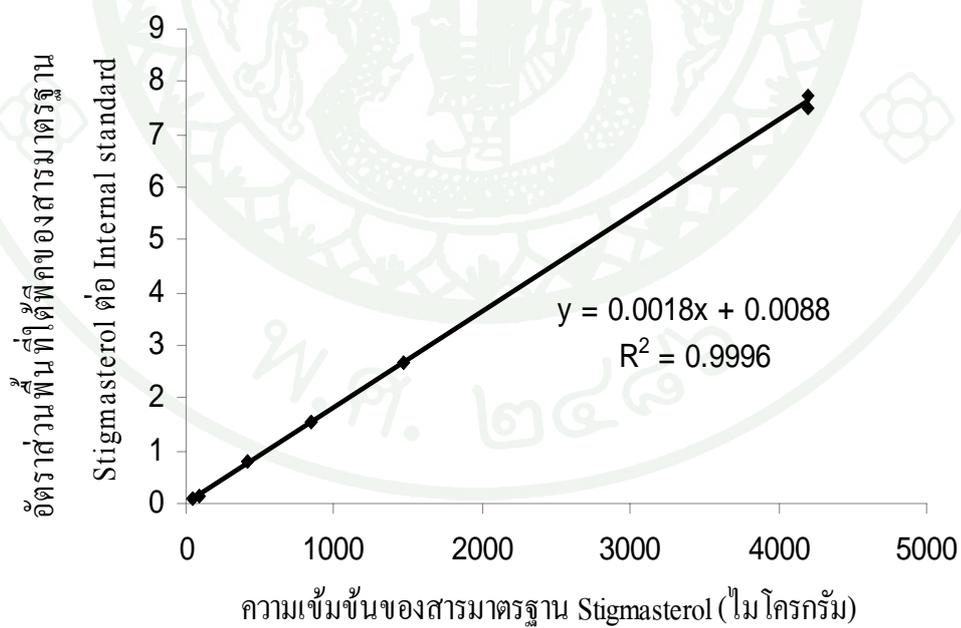
ภาพผนวกที่ ค13 กราฟมาตรฐานของไคกลีเซอไรด์



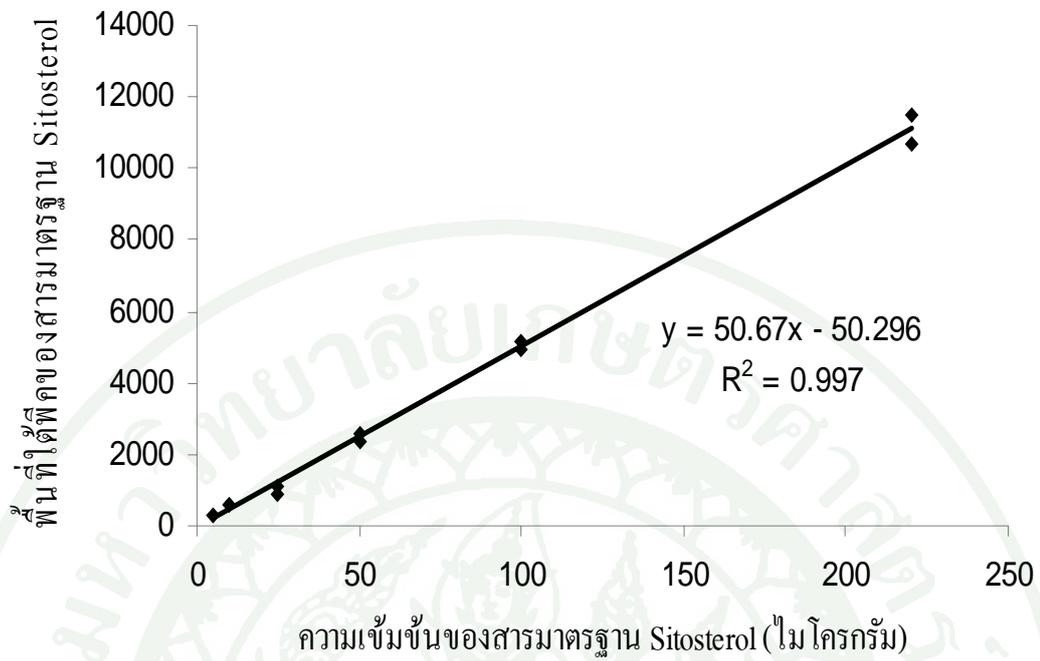
ภาพผนวกที่ ค14 กราฟมาตรฐานของกรดไขมันอิสระ



ภาพผนวกที่ 15 กราฟมาตรฐานของไตรกลีเซอไรด์



ภาพผนวกที่ 16 กราฟมาตรฐานของสติกมาสเตอร์อล



ภาพผนวกที่ ค17 กราฟมาตรฐานของไซโตสเตอรอล

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววรรณรดา ศิริสมพงษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	10 พฤษภาคม 2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร) คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-